



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
15.05.2019 Bulletin 2019/20

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

(21) Numéro de dépôt: **18000887.2**

(22) Date de dépôt: **12.11.2018**

(84) Etats contractants désignés:
AL 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 RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(71) Demandeur: **Orange**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **NICOL, Rozenn**
92326 Chatillon Cedex (FR)
• **MOREIRA, Julian**
92326 Chatillon Cedex (FR)

(30) Priorité: **13.11.2017 FR 1760647**

(54) **MODELISATION D'ENSEMBLE DE FONCTIONS DE TRANSFERTS ACOUSTIQUES PROPRE A UN INDIVIDU, CARTE SON TRIDIMENSIONNEL ET SYSTEME DE REPRODUCTION SONORE TRIDIMENSIONNELLE**

(57) L'invention concerne la modélisation de fonctions de transferts acoustiques individuelles, relatives à l'audition d'un individu dans l'espace tridimensionnel.

Un objet de l'invention est un procédé de modélisation d'ensembles de fonctions de transfert acoustiques propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace, dans lequel un ensemble de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu dans une direction donnée de la multiplicité de directions est déterminée en fonction du résultat d'une analyse statistique de plusieurs stimuli distincts émis à destination de l'individu, un stimulus étant fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée, et de réponses reçues en provenance de l'individu à chaque stimulus émis.

Ainsi, l'invention est plus fiable et plus robuste qu'une simple sélection d'un ensemble de fonctions de transfert acoustique dans une base de données et pallie l'inconvénient de l'acquisition critique du maillage 3D de la morphologie individuelle utilisée par la modélisation numérique classique.

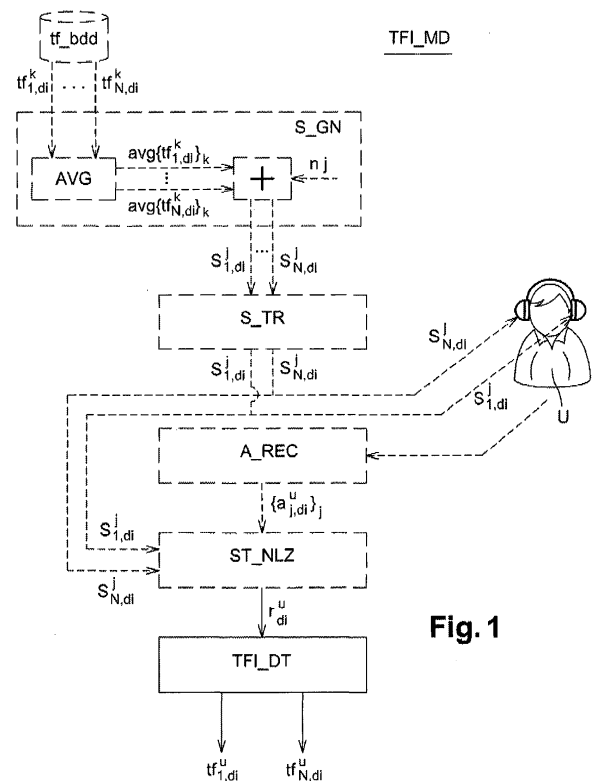


Fig. 1

Description

[0001] L'invention concerne la modélisation de fonctions de transferts acoustiques individuelles, relatives à l'audition d'un individu dans l'espace tridimensionnel.

[0002] L'invention s'inscrit en particulier dans le cadre de services, notamment de services de navigation par son spatialisé, de services de télécommunication proposant une diffusion du son spatialisée (par exemple une audioconférence entre plusieurs locuteurs, une diffusion d'une vidéo telle qu'une bande annonce de cinéma, un jeu...), etc, Sur des terminaux de télécommunication, notamment mobiles, il est envisagé un rendu sonore avec un casque d'écoute stéréophonique.

[0003] Parmi les technologies du son 3D ou de spatialisation sonore, en traitement du signal audio appliqué notamment à la simulation de phénomènes acoustiques et psycho-acoustiques, certaines visent la génération de signaux à diffuser sur haut-parleurs, notamment sur haut-parleurs distants de l'auditeur ou sur écouteurs, afin de donner à l'auditeur l'illusion auditive de sources sonores placées à des positions respectives particulières autour de lui. On parle alors de création de sources et d'images sonores virtuelles,

[0004] Différentes techniques sont appliquées au traitement d'un son 3D destiné à une diffusion sur casque à deux écouteurs, tels que des oreillettes, gauche et droite. Ces techniques visent la reconstruction du champ sonore au niveau des oreilles d'un auditeur, de telle sorte que ses tympans perçoivent un champ sonore pratiquement identique à celui qu'auraient induit les sources réelles dans l'espace 3D. Ces signaux de sons spatialisés peuvent être obtenus de deux façons:

- par une prise de son directe, au moyen de deux microphones insérés à l'entrée du canal auditif d'un individu ou d'un mannequin à morphologie standard ("*tête artificielle*"), ou
- par traitement du signal, en créant des sons spatialisés virtuels pour une écoute sur casque, par exemple : en filtrant un signal monophonique par deux filtres binauraux, ces filtres reproduisant les propriétés de la propagation acoustique entre la source placée à une position donnée et les deux oreilles d'un auditeur. Les techniques binaurales sont donc basées sur une paire de signaux binauraux qui alimentent respectivement les deux écouteurs du casque.

[0005] Une technique efficace de positionnement des sources sonores dans l'espace est la synthèse binaurale.

[0006] La synthèse binaurale repose sur l'utilisation de filtres, dits "*binauraux*", qui reproduisent les fonctions de transfert acoustiques entre la source sonore et les oreilles de l'auditeur. Ces filtres servent à simuler les indices de localisation auditive, indices qui permettent à un auditeur de localiser les sources sonores en situation d'écoute réelle. Ces filtres prennent en compte l'ensem-

ble des phénomènes acoustiques (notamment la diffraction par la tête, les réflexions sur le pavillon de l'oreille et le haut du torse) qui modifient l'onde acoustique dans son trajet entre la source et les oreilles de l'auditeur. Ces phénomènes varient fortement avec la position de la source sonore (principalement avec sa direction) 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, 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. Cette individualisation est requise pour offrir une qualité d'écoute satisfaisante et convaincante (qualité de la spatialisation et de l'immersion sonore notamment). Lorsque ces conditions ne sont pas respectées, une dégradation des performances du rendu binaural est observée : elle se traduit notamment par une perception intracrânienne des sources et des confusions avant/arrière (Les sources situées à l'avant sont perçues à l'arrière et vice versa).

[0007] Ces filtres binauraux représentent des fonctions de transfert acoustiques aussi appelées HRTFs (pour « Head Related Transfert Functions » en anglais) qui modélisent les transformations engendrées par le torse, la tête et le pavillon de l'auditeur sur le signal provenant d'une source sonore. A chaque position de source sonore est associée une paire de Fonctions de transfert acoustiques individuelles (une fonction de transfert acoustique individuelle pour l'oreille droite, une fonction de transfert acoustique individuelle pour l'oreille gauche). De plus, les fonctions de transfert acoustiques individuelles portent l'empreinte acoustique de la morphologie de l'individu sur lequel elles ont été mesurées. Les Fonctions de transfert acoustiques individuelles dépendent donc non seulement de la direction du son, mais aussi de l'individu. Elles sont ainsi fonction de la fréquence f , de la position (θ, φ) de la source sonore (où l'angle θ représente l'azimut et l'angle φ l'élévation), de l'oreille (gauche ou droite) et de l'individu.

[0008] De manière classique, les fonctions de transfert acoustiques individuelles sont obtenues par la mesure. Initialement, une sélection de directions, qui couvrent plus ou moins finement l'ensemble de l'espace entourant l'auditeur, est fixée. Pour chaque direction, les fonctions de transfert acoustiques individuelles gauche et droite sont mesurées au moyen de microphones insérés à l'entrée du conduit auditif d'un sujet. La mesure doit être réalisée dans une chambre anéchoïque (ou "*chambre sourde*"). Au final, si M directions sont mesurées, pour un sujet donné, une base de données de $2M$ fonctions de transfert acoustiques représentant chaque position de l'espace pour chaque oreille est obtenue. La mesure expérimentale des fonctions de transfert acoustiques individuelles directement sur un individu est, à l'heure ac-

tuelle, la solution la plus fiable pour obtenir des filtres binauraux de qualité et réellement individualisés (tenant compte des spécificités individuelles de la morphologie de l'individu).

[0009] Toutefois, la mesure de ces fonctions de transfert acoustiques individuelles présente quelques difficultés. Elle requiert un équipement spécifique et coûteux (typiquement une chambre anéchoïque, un microphone, un dispositif mécanique de positionnement de sources). Cette opération est longue car il faut notamment mesurer les fonctions de transfert pour un grand nombre de directions afin de couvrir de façon homogène l'ensemble d'une sphère 3D entourant l'auditeur. Par conséquent, la procédure de mesure est pénible pour le sujet à cause, notamment des contraintes imposées au sujet par le système de mesure et de la durée du test. Cette mesure des fonctions de transfert acoustiques individuelles devient très difficile, voire impossible, dans le cadre d'applications de la synthèse binaurale destinée au grand public.

[0010] Des solutions nécessitant un minimum de mesures de fonctions de transfert acoustiques individuelles et implémentant davantage des techniques de modélisation ont alors été recherchées. En particulier, des modèles mathématiques de fonctions de transfert acoustiques individuelles consistant en une fonction F permettant d'exprimer une fonction de transfert acoustique individuelle (Y) à partir d'un jeu de paramètres (X) donnés a priori, tels que $Y = F(X)$, ont été recherchés. Souvent, deux éléments essentiels interviennent : la mise au point du modèle mathématique (fonction F), et la spécification du jeu de paramètres à appliquer en entrée du modèle. Le jeu de paramètres consiste, par exemple, en un maillage 3D de la morphologie individuelle, notamment des pavillons d'oreilles. L'acquisition d'un maillage précis reste aujourd'hui un point critique.

[0011] De manière plus simple, des bases de données de fonctions de transfert acoustiques ont été constituées. Elles ont été mesurées sur un panel d'individus et permettent une sélection d'une paire de filtres binauraux dans la base de données par diverses techniques, telles qu'une comparaison entre la morphologie de l'auditeur et les morphologies du panel d'individus ayant servi à la génération de la base de données, par test de différentes paires de filtres binauraux de la base de données par l'auditeur. La méthode de sélection d'une paire de filtres binauraux dans une base de données manque de fiabilité et de robustesse et peut s'avérer d'un usage assez fastidieux pour l'utilisateur.

[0012] Un des buts de la présente invention est de proposer une solution alternative apportant des améliorations par rapport à l'état de la technique.

[0013] Un objet de l'invention est un procédé de modélisation d'ensembles de fonctions de transfert acoustiques propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace, dans lequel un ensemble de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu dans une direction donnée de la multiplicité de directions est déterminée en fonction du résultat d'une analyse sta-

tistique de plusieurs stimuli distincts émis à destination de l'individu, un stimulus étant fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée, et de réponses reçues en provenance de l'individu à chaque stimulus émis.

[0014] Ainsi, l'invention est plus fiable et plus robuste qu'une simple sélection d'un ensemble de fonctions de transfert acoustique dans une base de données et pallie l'inconvénient de l'acquisition critique du maillage 3D de la morphologie individuelle utilisée par la modélisation numérique classique.

[0015] Avantageusement, le procédé de modélisation comporte une analyse statistique par direction de l'espace des stimuli émis et des réponses reçues pour la direction donnée de la multiplicité de directions de l'espace.

[0016] Ainsi, l'analyse statistique étant mise en oeuvre par le procédé de modélisation, la modélisation est plus rapide, donc moins fastidieuse pour l'individu.

[0017] Avantageusement, le procédé de modélisation comporte des étapes qui sont effectuées pour la direction donnée de la multiplicité de directions de l'espace, dans lesquelles :

- plusieurs stimuli distincts fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée sont émis à destination d'un individu;
- une réponse de l'individu à chaque stimulus émis est reçue.

[0018] Ainsi, l'émission des stimuli et la réception des réponses à ceux-ci étant mises en oeuvre par le procédé de modélisation, les latences entre la génération des stimuli et leur émission, et respectivement, la réception de réponses et l'analyse statistique sont réduites.

[0019] Avantageusement, pour la direction donnée, plusieurs stimuli sont générés en fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée.

[0020] Ainsi, la génération des stimuli étant mise en oeuvre par le procédé de modélisation, la latence entre la génération des stimuli et leur émission est réduite.

[0021] Avantageusement, un stimulus résulte de l'ajout de bruit à un ensemble de fonctions de transferts acoustiques moyennes associées à la direction donnée calculées en fonction d'ensembles de fonctions de transfert acoustiques enregistrées dans une base de données de fonctions de transfert acoustiques et associées à la direction donnée.

[0022] Ainsi, la génération de stimuli étant basée sur un ensemble de fonctions de transfert acoustiques, elle permet de simplifier la modélisation de la fonction de transfert acoustique propre à un individu en se basant sur cette même fonction de transfert acoustique utilisée pour générer les stimuli.

[0023] Avantageusement, le procédé de modélisation

comporte des étapes dans lesquelles:

- un ensemble de fonctions de transfert acoustiques moyennes associées à la direction donnée est calculée en fonction de plusieurs ensembles de fonctions de transfert acoustiques enregistrées dans une base de données de fonctions de transfert acoustiques et associées à la direction donnée;
- les stimuli sont fonction de l'ensemble de fonctions de transfert acoustiques moyennes calculées.

[0024] Ainsi, la divergence entre l'ensemble de fonctions de transfert acoustiques servant à la modélisation et l'ensemble de fonctions de transfert acoustiques propre à l'individu est moins importante en raison de l'utilisation de fonctions de transfert acoustiques moyennes plutôt que la sélection arbitraire d'une fonction de transfert acoustique réduisant les erreurs de modélisation. Par conséquent, la modélisation est moins complexe et moins longue car elle compense une divergence moins importante.

[0025] Avantageusement, l'analyse statistique utilise la technique psychophysique de corrélation inverse.

[0026] Ainsi, la modélisation de l'ensemble de fonctions de transfert acoustique propre à l'individu est basée sur la perception réduisant les risques de perception intracrâniennes et confusions directionnelles.

[0027] Avantageusement, selon une implémentation de l'invention, les différentes étapes du procédé selon l'invention sont mises en oeuvre par un logiciel ou programme d'ordinateur, ce logiciel comprenant des instructions logicielles destinées à être exécutées par un processeur de données d'un dispositif faisant partie d'un terminal, tel qu'un terminal de communication, et étant conçus pour commander l'exécution des différentes étapes de ce procédé.

[0028] L'invention vise donc aussi un programme comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé de modélisation selon l'une quelconque des revendications précédentes lorsque ledit programme est exécuté par un processeur,

[0029] Ce programme peut utiliser n'importe quel langage de programmation et être sous la forme de code source, code objet ou code intermédiaire entre code source et code objet tel que dans une forme partiellement compilée ou dans n'importe quelle autre forme souhaitable.

[0030] Un objet de l'invention est aussi un modélisateur d'ensembles de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace, comportant un générateur d'ensembles de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu dans une direction donnée de la multiplicité de directions à partir du résultat d'une analyse statistique de plusieurs stimuli distincts émis à destination de l'individu, un stimulus étant fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée, et de réponses reçues en

provenance de l'individu à chaque stimulus émis.

[0031] Avantageusement, le modélisateur comporte un analyseur statistique des stimuli émis et des réponses reçues par direction donnée de la multiplicité de directions.

[0032] Avantageusement, le modélisateur comporte :

- un émetteur de plusieurs stimuli distincts à destination d'un individu fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à au moins une direction donnée de la multiplicité de directions; et
- un récepteur des réponses de l'individu à chaque stimulus émis.

[0033] Un objet de l'invention est encore une carte son tridimensionnel comportant :

- un modélisateur d'ensembles de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace apte à générer au moins un ensemble de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu dans une direction donnée de la multiplicité de directions à partir du résultat d'une analyse statistique de plusieurs stimuli distincts émis à destination de l'individu, un stimulus étant fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée, et de réponses reçues en provenance de l'individu à chaque stimulus émis, et
- un ensemble de sorties audio parallèles permettant de connecter simultanément plusieurs haut-parleurs à la carte son et fournissant simultanément chacune un signal audio à reproduire à un haut-parleur connecté à la sortie audio, le signal audio comportant, durant une phase de modélisation, le stimulus correspondant au haut-parleur et, durant une phase de reproduction, le signal à reproduire modifié par la fonction correspondant à la sortie audio haut-parleur de l'ensemble de fonctions de transfert acoustiques modélisées pour l'individu utilisant la carte son.

[0034] Un objet de l'invention est également un système de reproduction sonore tridimensionnelle comportant :

- un modélisateur d'ensembles de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace apte à générer au moins un ensemble de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu dans une direction donnée de la multiplicité de directions à partir du résultat d'une analyse statistique de plusieurs stimuli distincts émis à destination de l'individu, un stimulus étant fonction d'au moins un

ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée, et de réponses reçues en provenance de l'individu à chaque stimulus émis, et

- un ensemble de haut-parleurs apte à reproduire chacun un signal audio, le signal audio comportant, durant une phase de modélisation, le stimulus correspondant au haut-parleur et, durant une phase de reproduction, à un signal à reproduire modifié par la fonction correspondant au haut-parleur de l'ensemble de fonctions de transfert acoustiques modélisées pour l'individu utilisant le système de reproduction.

[0035] Avantageusement, le système comporte un casque sur lequel les deux haut-parleurs de l'ensemble de haut-parleurs sont disposés de tel sorte que chacun des deux haut-parleurs est placé sur une des deux oreilles de l'individu lorsque le casque est placé sur sa tête, et en ce que l'ensemble de fonctions de transferts acoustiques est une paire de fonctions de transferts correspondant.

[0036] Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description, faite à titre d'exemple, et des figures s'y rapportant qui représentent :

- Figure 1, un schéma simplifié d'un procédé de modélisation d'ensemble de fonctions de transfert acoustiques individuelles selon l'invention.
- Figure 2, un schéma simplifié d'un modélisateur d'ensemble de fonctions de transfert acoustiques individuelles selon l'invention,
- Figure 3, un schéma simplifié d'un système de reproduction sonore tridimensionnelle selon l'invention.

[0037] La figure 1 illustre un schéma simplifié d'un procédé de modélisation d'ensemble de fonctions de transfert acoustiques individuelles selon l'invention.

[0038] Le procédé de modélisation d'ensembles de fonctions de transfert acoustiques TFI_MD est propre à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace. Ce procédé de modélisation TFI_MD comporte une détermination TFI_DT d'un ensemble de fonctions de transferts acoustiques ($tf_{1,di}^U, \dots, tf_{N,di}^U$) propres à un individu U dans une direction donnée di de la multiplicité de directions en fonction du résultat r_{di}^U d'une analyse statistique de plusieurs stimuli distincts $\{(s_{1,di}^j, \dots, s_{N,di}^j)\}^j$ émis à destination de l'individu U, et de réponses $\{s_{j,di}^U\}_j$ reçues en provenance de l'individu U à chaque stimulus émis. Un stimulus est fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée.

[0039] Par direction de l'espace associée à une fonction de transfert acoustique est entendue notamment une direction relative à l'utilisateur dans laquelle une source virtuelle est créée au moyen de la modélisation.

[0040] En particulier, le procédé de modélisation

TFI_MD comporte une analyse statistique ST_NLZ par direction di de l'espace des stimuli émis ($s_{1,di} \dots s_{N,di}$) et des réponses a_{di}^U reçues.

[0041] En particulier, le procédé de modélisation TFI_MD comporte les étapes suivantes qui sont effectuées pour la direction donnée di de la multiplicité de directions de l'espace :

- plusieurs stimuli distincts fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée di sont émis S_TR à destination d'un individu U;
- une réponse de l'individu U à chaque stimulus émis est reçue A_REC.

[0042] En particulier, pour la direction donnée di , plusieurs stimuli sont générés S_GN en fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée.

[0043] En particulier, un stimulus $s_{1,di}^j \dots s_{N,di}^j$ résulte de l'ajout + de bruit η_j à un ensemble de fonctions de transferts acoustiques moyennes $avg\{tf_{1,di}^{kj}\}^k \dots avg\{tf_{N,di}^{kj}\}^k$ associées à la direction donnée di calculées en fonction d'ensembles de fonctions de transfert acoustiques enregistrées dans une base de données de fonctions de transfert acoustiques tf_bdd et associées à la direction donnée.

[0044] L'addition de bruit pour générer les stimuli permet d'explorer l'espace des variations sans hypothèses a priori sur les propriétés du profil spectral (de l'ensemble de fonctions de transfert acoustique individuelle) qui sont responsables de la localisation dans une direction donnée (par exemple dans la direction frontale).

[0045] En particulier, le procédé de modélisation TFI_MD comporte les étapes suivantes dans lesquelles

- un ensemble de fonctions de transfert acoustiques moyennes associées à la direction donnée est calculée AVG en fonction de plusieurs ensembles de fonctions de transfert acoustiques enregistrées dans une base de données de fonctions de transfert acoustiques et associées à la direction donnée;
- les stimuli sont fonction de l'ensemble de fonctions de transfert acoustiques moyennes calculées,

[0046] Par ensemble de fonctions de transfert acoustiques moyennes est entendu une fonction de transfert acoustique moyenne par canal de reproduction, notamment dans le cas de la synthèse binaurale : une fonction de transfert acoustique moyenne pour l'oreille droite et une fonction de transfert acoustique moyenne pour l'oreille gauche de l'utilisateur U.

[0047] En particulier, l'analyse statistique ST_NLZ utilise la technique psychophysique de corrélation inverse. Elle se base sur l'observation haut niveau des processus perceptifs et repose sur une phase de test durant laquelle le procédé de modélisation TFI_WD soumet l'individu à un ensemble de stimuli obtenus par ajout de bruit à un

stimulus neutre (par exemple une moyenne de fonctions de transfert acoustique) et observe les réponses de l'individu U à ces différents stimuli. En analysant les relations statistiques entre les stimuli et les réponses, le procédé de modélisation TFI_MD identifie TFI_DT les filtres perceptifs, en l'occurrence les fonctions de transfert acoustiques individuelles, associés au processus perceptif étudié, c'est-à-dire les propriétés des stimuli qui déterminent une réponse perceptive donnée.

[0048] Ainsi, le procédé de modélisation est basé sur la perception pour identifier les fonctions de transfert acoustiques propre à un individu.

[0049] La modélisation de sources sonores frontales (direction d'azimut 0° et d'élévation 0°) est particulièrement critique. L'utilisation de filtres binauraux génériques pour une telle modélisation engendre une spatialisation des sources sonores souvent décevante : l'auditeur tend à localiser la source au-dessus, voire à l'intérieur de la tête.

[0050] En utilisant le procédé de modélisation TFI_MD selon l'invention, une paire de filtres binauraux neutres (c'est-à-dire un ensemble de fonctions de transfert acoustique dit neutre) est calculé en moyennant AVG plusieurs ensembles de fonctions de transfert acoustiques HRTF mesurées dans la direction frontale pour une large sélection d'individus constituant un panel (éventuellement préenregistrées dans une base de données d'ensembles de fonctions de transfert acoustiques tf_bdd).

[0051] Un ensemble de stimuli spatialisés synthétisés S_GN avec des filtres binauraux obtenus en ajoutant + du bruit n_j à la paire de filtres neutres est diffusé S_TR à destination de l'auditeur, c'est-à-dire de l'individu U pour lequel le procédé de modélisation TFI_MD détermine l'ensemble de fonctions de transfert acoustique personnalisé, L'ajout de bruit porte sur le profil spectral.

[0052] Pour chaque stimulus émis, l'auditeur U indique s'il le perçoit correctement spatialisé (c'est-à-dire dans la direction d_i que la modélisation TFI_MD tente de reproduire, en l'occurrence la direction frontale et à l'extérieur de la tête) ou non. Cette indication de l'auditeur U constitue la réponse reçue A_REC lors de la modélisation TFI_MD.

[0053] L'analyse ST_NLZ des relations statistiques entre les stimuli et les réponses de l'auteur permet de déterminer TFI_DT le profil spectral adapté à l'auditeur U et garantissant la reproduction correcte des sons dans la direction modélisée d_i , en l'occurrence la direction frontale.

[0054] Ce procédé de modélisation TFI_MD peut être appliqué à toute autre direction.

[0055] Un mode de réalisation particulier du procédé de modélisation est un programme comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé de modélisation lorsque ledit programme est exécuté par un processeur.

[0056] La figure 2 illustre un schéma simplifié d'un modélisateur d'ensemble de fonctions de transfert acousti-

ques individuelles selon l'invention.

[0057] Le modélisateur 100 d'ensembles de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace, comporte un générateur 1004 d'ensembles de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu dans une direction donnée de la multiplicité de directions à partir du résultat d'une analyse statistique de plusieurs stimuli distincts émis à destination de l'individu, un stimulus étant fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée, et de réponses reçues en provenance de l'individu à chaque stimulus émis.

[0058] En particulier, le modélisateur 100 comporte un analyseur statistique 1003 des stimuli émis et des réponses reçues par direction donnée de la multiplicité de directions.

[0059] En particulier, le modélisateur 100 comporte :

- un émetteur 1001 de plusieurs stimuli distincts à destination d'un individu fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à au moins une direction donnée de la multiplicité de directions; et
- un récepteur 1002 des réponses de l'individu à chaque stimulus émis,

[0060] Dans un mode de réalisation particulier, une carte son tridimensionnel 10 comporte :

- un modélisateur 100 d'ensembles de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace apte à générer au moins un ensemble de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu dans une direction donnée de la multiplicité de directions à partir du résultat d'une analyse statistique de plusieurs stimuli distincts émis à destination de l'individu, un stimulus étant fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée, et de réponses reçues en provenance de l'individu à chaque stimulus émis, et
- un ensemble 102 de sorties audio parallèles permettant de connecter simultanément plusieurs haut-parleurs $2_1 \dots 2_N$ à la carte son et fournissant simultanément chacune un signal audio à reproduire à un haut-parleur connecté à la sortie audio, le signal audio comportant, durant une phase de modélisation, le stimulus correspondant au haut-parleur et, durant une phase de reproduction, le signal à reproduire modifié par la fonction correspondant à la sortie audio haut-parleur de l'ensemble de fonctions de transfert acoustiques modélisées pour l'individu utilisant la carte son.

[0061] En particulier, le modélisateur 100 comporte un

générateur de stimuli 1000 fournissant, pour une direction donnée di , plusieurs (j) ensembles de stimuli ($s_{1,di^j} \dots s_{N,di^j}$). Le générateur 1000 ajoute notamment pour chaque ensemble de stimuli ($s_{1,di^j} \dots s_{N,di^j}$) un bruit n_j à un même ensemble de fonctions de transfert acoustique prédéterminées ($tf_{1,di^k} \dots tf_{N,di^k}$). Le bruit n_j appliqué à l'ensemble de fonctions de transfert acoustique prédéterminées ($tf_{1,di^k} \dots tf_{N,di^k}$) pour obtenir l'ensemble de stimuli ($s_{1,di^j} \dots s_{N,di^j}$) est distinct du bruit n_j appliqué au même ensemble de fonctions de transfert acoustique prédéterminées ($tf_{1,di^k} \dots tf_{N,di^k}$) pour obtenir l'ensemble de stimuli ($s_{1,di^j} \dots s_{N,di^j}$).

[0062] L'ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminé utilisé pour générer les stimuli est notamment un ensemble de fonctions de transfert acoustiques dits neutre, à savoir qu'il ne reflète pas une morphologie spécifique. Ainsi, l'analyse statistique n'est pas biaisée par un modèle morphologique particulier et la détermination des fonctions de transferts acoustique individuelle permet une meilleure approximation des fonctions de transferts acoustiques réelles de l'individu.

[0063] En particulier, un tel ensemble de fonctions de transfert acoustique dit neutre est obtenu en moyennant plusieurs ensembles de fonctions de transfert acoustiques enregistrées dans une base de données de fonctions de transfert acoustique. Par exemple, les ensembles de fonctions de transfert acoustique utilisés pour calculer cet ensemble de fonctions de transfert acoustique dit neutre sont sélectionnés aléatoirement dans la base de données de fonctions de transfert acoustique ou en fonction d'un ou plusieurs paramètres morphologiques voisins de ceux de l'individu, ou sont constitués par tous les ensembles de fonctions de transfert acoustiques enregistrées dans la base de données de fonctions de transfert acoustique,

[0064] Le plus souvent un ensemble de fonctions de transfert acoustique est une paire de fonctions de transfert acoustique (par exemple dans le cas particulier du binaural) composée de la fonction de transfert acoustique correspondant à l'oreille droite et de la fonction de transfert acoustique correspondant à l'oreille gauche d'un individu.

[0065] L'émetteur 1001 émet, pour au moins une direction donnée di , plusieurs ensembles de stimuli ($s_{1,di^j} \dots s_{N,di^j}$) à destination de l'individu U pour lequel le modélisateur 100 détermine un ensemble de fonctions de transfert acoustique dans une direction donnée di . Notamment, l'émetteur 1001 transmet ces ensembles de stimuli, par exemple par un ensemble de sortie 102 d'une carte son 3D 10 et/ou d'un terminal 1 comportant le modélisateur 100, à un ensemble de haut-parleurs ($2_1 \dots 2_N$) diffusant les stimuli à l'individu U. Chaque stimuli s_{a,di^j} d'un ensemble de stimuli ($s_{1,di^j} \dots s_{N,di^j}$) est destiné à un haut-parleur spécifique 2_n de l'ensemble de haut-parleurs ($2_1 \dots 2_N$).

[0066] A chaque ensemble de stimuli ($s_{1,di^j} \dots s_{N,di^j}$), l'individu U réagit en transmettant une réponse à notamment au moyen d'une interface 12 du terminal 1 (par

saisie, par commande vocale...). Le récepteur 1002 reçoit la réponse a_j^U à l'ensemble j de stimuli de l'individu U.

[0067] Pour une direction donnée di , l'analyseur 1003 effectue une analyse statistique sur les ensembles de stimuli émis ($s_{1,di^j} \dots s_{N,di^j}$) et les réponses correspondantes a_j^U . Le générateur 1004 détermine alors l'ensemble ($tf_{1,di^U} \dots tf_{N,di^U}$) de fonctions de transfert acoustique propre à cet individu U pour la direction donnée di en fonction du résultat r_{di}^U fourni par l'analyseur 1003.

[0068] L'opération est éventuellement répétée pour un ou plusieurs autres directions di' distinctes.

[0069] Ainsi, le terminal 1 comportant un lecteur 11 de signal sonore as peut diffuser un signal sonore 3D à destination de l'individu U. En effet, le terminal 1 comporte un filtre 101 dont les paramètres de filtrage sont constitués, pour au moins une direction di , par l'ensemble de fonction de transfert fourni par le modélisateur 100. Le filtre 101 convolve alors le signal sonore monophonique as en un ensemble de signaux sonores qui sont diffusés à l'individu U au moyen de l'ensemble de haut-parleurs.

[0070] La figure 3 illustre un schéma simplifié d'un système de reproduction sonore tridimensionnelle selon l'invention.

[0071] Le système de reproduction sonore tridimensionnelle comporte :

- un modélisateur 100 d'ensembles de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace apte à générer au moins un ensemble de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu dans une direction donnée de la multiplicité de directions à partir du résultat d'une analyse statistique de plusieurs stimuli distincts émis à destination de l'individu, un stimulus étant fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée, et de réponses reçues en provenance de l'individu à chaque stimulus émis, et
- un ensemble de haut-parleurs $\{2_1, 2_2\}$ apte à reproduire chacun un signal audio, le signal audio comportant, durant une phase de modélisation, le stimulus correspondant au haut-parleur et, durant une phase de reproduction, à un signal à reproduire modifié par la fonction correspondant au haut-parleur de l'ensemble de fonctions de transfert acoustiques modélisées pour l'individu utilisant le système de reproduction.

[0072] En particulier, le système de reproduction comporte un casque 20 sur lequel les deux haut-parleurs 2_1 et 2_2 de l'ensemble de haut-parleurs sont disposés de tel sorte que chacun des deux haut-parleurs est placé sur une des deux oreilles de l'individu U lorsque le casque 20 est placé sur sa tête, l'ensemble de fonctions de transferts acoustiques étant une paire de fonctions de transferts correspondant.

[0073] Ainsi, la modélisation selon l'invention ne né-

cessite pas d'équipement spécifique. Elle peut être mise en oeuvre avec un simple casque d'écoute.

[0074] L'invention vise aussi un support. Le support d'informations peut être n'importe quelle entité ou dispositif capable de stocker le programme. Par exemple, le support peut comporter un moyen de stockage, tel qu'une ROM, par exemple un CD ROM ou une ROM de circuit microélectronique ou encore un moyen d'enregistrement magnétique, par exemple une disquette ou un disque dur.

[0075] D'autre part, le support d'informations peut être un support transmissible tel qu'un signal électrique ou optique qui peut être acheminé via un câble électrique ou optique, par radio ou par d'autres moyens. Le programme selon l'invention peut être en particulier téléchargé sur un réseau notamment de type internet.

[0076] Alternativement, le support d'informations peut être un circuit intégré dans lequel le programme est incorporé, le circuit étant adapté pour exécuter ou pour être utilisé dans l'exécution du procédé en question,

[0077] Dans une autre implémentation, l'invention est mise en oeuvre au moyen de composants logiciels et/ou matériels. Dans cette optique le terme module peut correspondre aussi bien à un composant logiciel ou à un composant matériel. Un composant logiciel correspond à un ou plusieurs programmes d'ordinateur, un ou plusieurs sous-programmes d'un programme, ou de manière plus générale à tout élément d'un programme ou d'un logiciel apte à mettre en oeuvre une fonction ou un ensemble de fonction selon la description ci-dessus. Un composant matériel correspond à tout élément d'un ensemble matériel (ou hardware) apte à mettre en oeuvre une fonction ou un ensemble de fonctions.

Revendications

1. Procédé de modélisation d'ensembles de fonctions de transfert acoustiques propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace, dans lequel un ensemble de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu dans une direction donnée de la multiplicité de directions est déterminée en fonction du résultat d'une analyse statistique de plusieurs stimuli distincts émis à destination de l'individu, un stimulus étant fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée, et de réponses reçues en provenance de l'individu à chaque stimulus émis,
2. Procédé de modélisation selon la revendication précédente, dans lequel une analyse statistique par direction de l'espace des stimuli émis et des réponses reçues est effectuée pour la direction donnée de la multiplicité de directions de l'espace.
3. Procédé de modélisation selon l'une quelconque

des revendications précédentes, dans lequel les étapes suivantes sont effectuées pour la direction donnée de la multiplicité de directions de l'espace :

- 5
 - plusieurs stimuli distincts fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée sont émis à destination d'un individu;
 - une réponse de l'individu à chaque stimulus émis est reçue.
- 10
4. Procédé de modélisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, pour la direction donnée, plusieurs stimuli sont générés en fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée.
- 15
5. procédé de modélisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un stimulus résulte de l'ajout de bruit à un ensemble de fonctions de transferts acoustiques moyennes associées à la direction donnée calculées en fonction d'ensembles de fonctions de transfert acoustiques enregistrées dans une base de données de fonctions de transfert acoustiques et associées à la direction donnée.
- 20
6. Procédé de modélisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel
 - 25
 - un ensemble de fonctions de transfert acoustiques moyennes associées à la direction donnée est calculée en fonction de plusieurs ensembles de fonctions de transfert acoustiques enregistrées dans une base de données de fonctions de transfert acoustiques et associées à la direction donnée;
 - les stimuli sont fonction de l'ensemble de fonctions de transfert acoustiques moyennes calculées.
 - 30
- 35
7. Procédé de modélisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'analyse statistique utilise la technique psychophysique de corrélation inverse.
- 40
8. Programme comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé de modélisation selon l'une quelconque des revendications précédentes lorsque ledit programme est exécuté par un processeur.
- 45
9. Modélisateur d'ensembles de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace, comportant un générateur d'ensembles de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu dans une direction donnée de la multiplicité de directions à partir du
- 50
- 55

résultat d'une analyse statistique de plusieurs stimuli distincts émis à destination de l'individu, un stimulus étant fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée, et de réponses reçues en provenance de l'individu à chaque stimulus émis,

5

10. Modélisateur selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le modélisateur comporte un analyseur statistique des stimuli émis et des réponses reçues par direction donnée de la multiplicité de directions.

10

11. Modélisateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le modélisateur comporte :

15

- un émetteur de plusieurs stimuli distincts à destination d'un individu fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à au moins une direction donnée de la multiplicité de directions; et
- un récepteur des réponses de l'individu à chaque stimulus émis.

20

12. Carte son tridimensionnel comportant :

- un modélisateur d'ensembles de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace apte à générer au moins un ensemble de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu dans une direction donnée de la multiplicité de directions à partir du résultat d'une analyse statistique de plusieurs stimuli distincts émis à destination de l'individu, un stimulus étant fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donné, et de réponses reçues en provenance de l'individu à chaque stimulus émis, et
- un ensemble de sorties audio parallèles permettant de connecter simultanément plusieurs haut-parleurs à la carte son et fournissant simultanément chacune un signal audio à reproduire à un haut-parleur connecté à la sortie audio, le signal audio comportant, durant une phase de modélisation, le stimulus correspondant au haut-parleur et, durant une phase de reproduction, le signal à reproduire modifié par la fonction correspondant à la sortie audio haut-parleur de l'ensemble de fonctions de transfert acoustiques modélisées pour l'individu utilisant la carte son.

25

30

35

40

45

50

55

13. Système de reproduction sonore tridimensionnelle comportant :

- un modélisateur d'ensembles de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu suivant une multiplicité de directions de l'espace apte à générer au moins un ensemble de fonctions de transferts acoustiques propres à un individu dans une direction donnée de la multiplicité de directions à partir du résultat d'une analyse statistique de plusieurs stimuli distincts émis à destination de l'individu, un stimulus étant fonction d'au moins un ensemble de fonctions de transfert acoustiques prédéterminées associées à la direction donnée, et de réponses reçues en provenance de l'individu à chaque stimulus émis, et

- un ensemble de haut-parleurs apte à reproduire chacun un signal audio, le signal audio comportant, durant une phase de modélisation, le stimulus correspondant au haut-parleur et, durant une phase de reproduction, à un signal à reproduire modifié par la fonction correspondant au haut-parleur de l'ensemble de fonctions de transfert acoustiques modélisées pour l'individu utilisant le système de reproduction.

14. Système de reproduction selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le système comporte un casque sur lequel les deux haut-parleurs de l'ensemble de haut-parleurs sont disposés de tel sorte que chacun des deux haut-parleurs est placé sur un des deux oreilles de l'individu lorsque le casque est placé sur sa tête, et **en ce que** l'ensemble de fonctions de transferts acoustiques est une paire de fonctions de transferts correspondant.

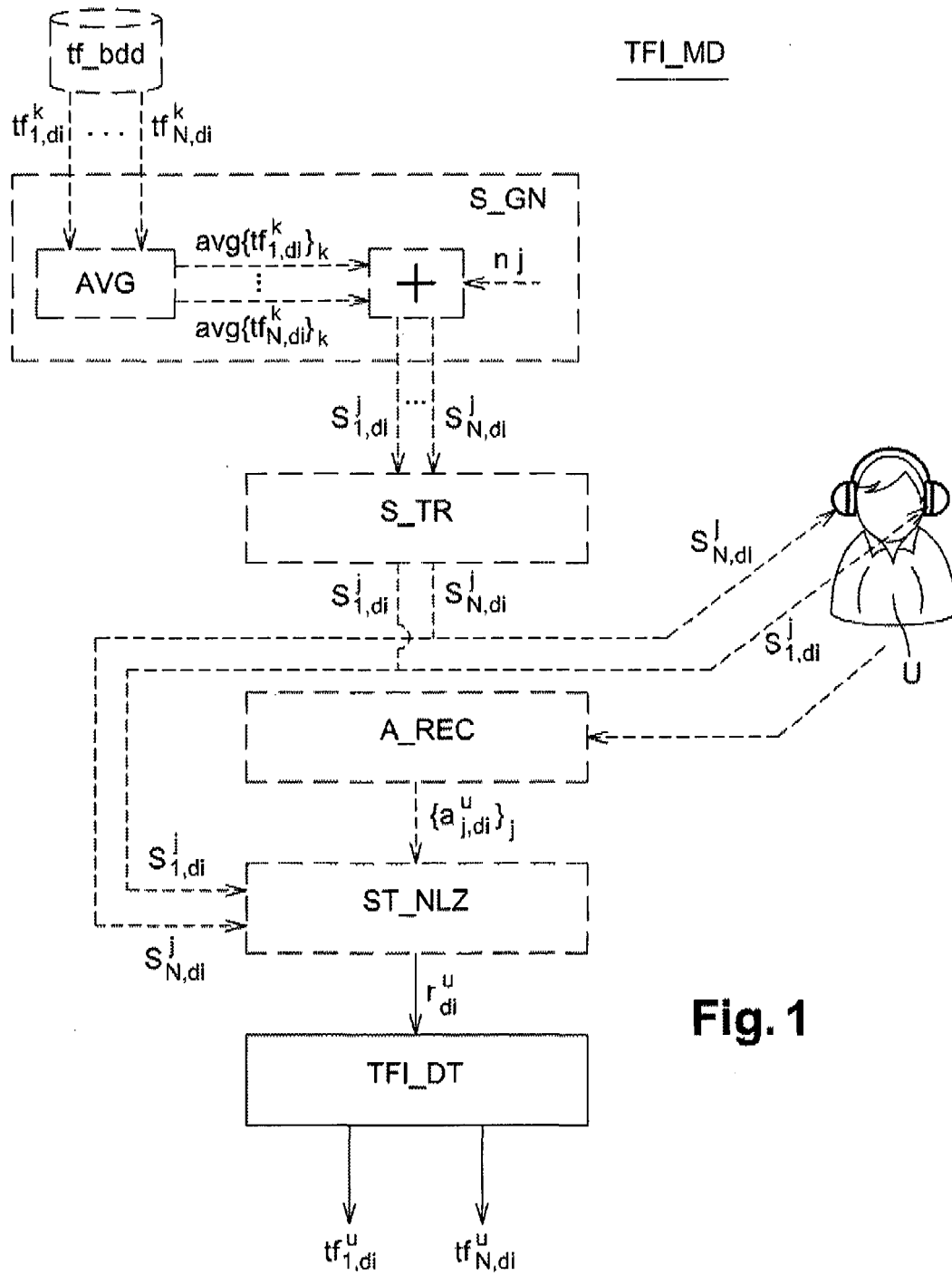
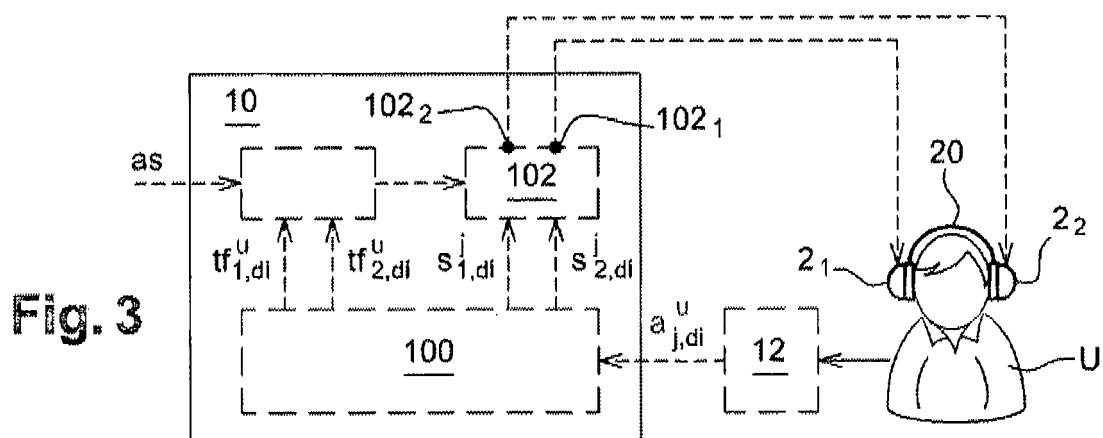
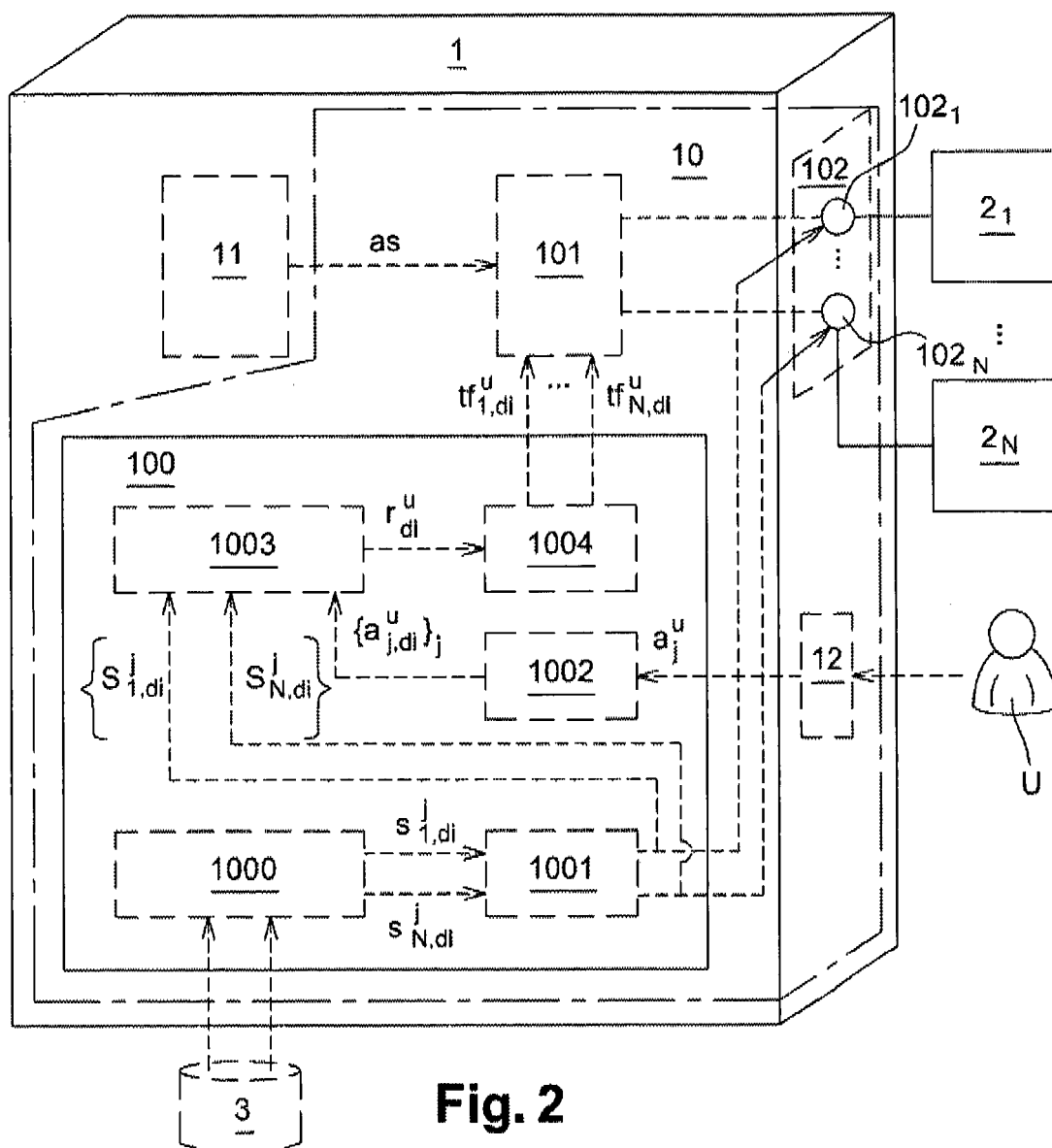


Fig. 1





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 18 00 0887

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	Rozenn Nicol ET AL: "How to make immersive audio available for mass-market listening", EBU Technical Review, 14 juillet 2016 (2016-07-14), pages 1-18, XP055508045, Extrait de l'Internet: URL:https://tech.ebu.ch/docs/techreview/2016-07-12_NouvOson%20Binaural%20Player_final%20version.pdf [extrait le 2018-09-19]	1-4,6, 8-14	INV. H04S7/00
A	* figure 2 * * page 8 - page 10; figures 5-6 * * page 10 - page 15; figures 7-9 *	5,7	
X	CN 103 237 287 B (UNIV SOUTH CHINA TECH) 11 mars 2015 (2015-03-11)	1-4,6, 8-14	
A	* revendication 1 *	5,7	
X	US 2008/130906 A1 (GOLDSTEIN STEVEN W [US] ET AL) 5 juin 2008 (2008-06-05) * alinéa [0214] - alinéa [0218] * * alinéa [0069] *	1-4,6, 8-14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
A	PAUL M. HOFMAN ET AL: "Bayesian reconstruction of sound localization cues from responses to random spectra", BIOLOGICAL CYBERNETICS, vol. 86, no. 4, 1 avril 2002 (2002-04-01), pages 305-316, XP055508019, * page 306 *	5,7	H04S
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		1 avril 2019	Guillaume, Mathieu
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 18 00 0887

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

01-04-2019

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 103237287 B	11-03-2015	AUCUN	
US 2008130906 A1	05-06-2008	US 2008130906 A1 WO 2008064230 A2	05-06-2008 29-05-2008

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82