

(19)



(11)

**EP 2 194 734 A1**

(12)

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**09.06.2010 Bulletin 2010/23**

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

(21) Numéro de dépôt: **09174579.4**

(22) Date de dépôt: **30.10.2009**

(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 SM TR**  
Etats d'extension désignés:  
**AL BA RS**

- **Perbet, Jean-Noël**  
**33320 Eysines (FR)**
- **Breton, Pierre-Albert**  
**33600 Pessac (FR)**

(30) Priorité: **07.11.2008 FR 0806229**

(74) Mandataire: **Esselin, Sophie et al**  
**Marks & Clerk France**  
**Conseils en Propriété Industrielle**  
**Immeuble " Visium "**  
**22, avenue Aristide Briand**  
**94117 Arcueil Cedex (FR)**

(71) Demandeur: **Thales**  
**92200 Neuilly Sur Seine (FR)**

(72) Inventeurs:  
• **Clot, Vincent**  
**2514 KC Den Haag (NL)**

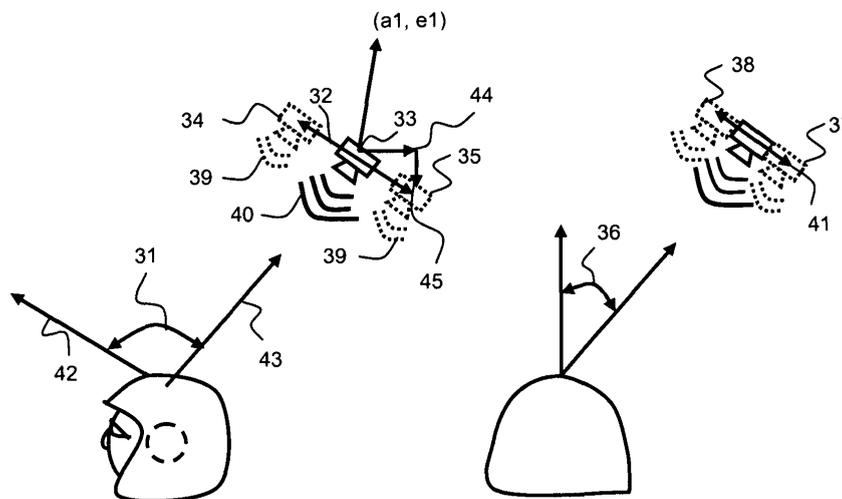
**(54) Procédé et système de spatialisation du son par mouvement dynamique de la source**

(57) L'invention concerne un procédé et le système de traitement algorithmique de signaux pour la spatialisation sonore permettant d'associer des signaux sonores à des informations devant être localisées par un auditeur, les signaux sonores spatialisés étant définis par une position virtuelle d'origine 33 correspondant à la position de l'information, **caractérisé en ce que**, par traitement algorithmique, on applique à un signal sonore spatialisé

un mouvement oscillatoire 32 décrivant une suite de positions virtuelles 33, 34, 35 dudit signal autour de la position virtuelle d'origine 33.

L'invention s'applique aux applications d'interface homme machine, notamment dans un système avionique de cockpit.

Elle permet de mieux localiser les informations en leur associant une information sonore spatialisée.



**Fig.5**

**EP 2 194 734 A1**

## Description

**[0001]** Le domaine de l'invention concerne un procédé de traitement algorithmique de signaux pour la spatialisation sonore permettant l'amélioration de la localisation des positions virtuelles d'origine des signaux sonores. Par la suite, on utilisera le terme spatialisation sonore ou son 3D. L'invention s'applique notamment aux systèmes de spatialisation compatibles avec un équipement modulaire avionique de traitement de l'information de type IMA (abréviation de l'expression anglo-saxon « Integrated Modular Avionics ») appelé encore EMTI (pour Equipement Modulaire de Traitement de l'Information).

**[0002]** Dans le domaine de l'aéronautique embarqué et notamment dans le domaine militaire, la majorité des réflexions débouche sur le besoin d'un visuel tête haute, qui peut être un casque porté par la tête, associé à une visualisation de très grand format présentée en tête basse. Cet ensemble doit permettre d'améliorer la perception de la situation globale (« situation awareness ») tout en réduisant la charge du pilote grâce à une présentation d'une synthèse en temps réel des informations issues de sources multiples (senseurs, base de données).

**[0003]** Le son 3D s'inscrit dans la même approche que le visuel de casque en permettant aux pilotes d'acquérir des informations de situation spatiale dans son repère propre par un canal de communication autre que le visuel en suivant une modalité naturelle moins chargée que la vue.

**[0004]** Typiquement dans le cadre d'applications aéronautiques militaires, les avions d'armes comportent des systèmes de détection de menaces, comme un accrochage radar par un aéronef ennemi ou un risque de collision, associés à des systèmes de visualisation à l'intérieur du cockpit. Ces systèmes alertent le pilote des menaces dans son environnement, par affichage sur une visualisation combiné à un signal sonore. Les techniques de son 3D fournissent une indication de localisation de la menace par le canal d'entrée de l'ouïe, non surchargé et intuitif. Le pilote est ainsi informé de la menace au moyen d'un son spatialisé dans la direction correspondante à l'information.

**[0005]** Pour les applications aéronautiques embarquées, un système de spatialisation du son consiste en un système de calcul réalisant des traitements algorithmiques sur les signaux sonores. L'encombrement des cockpits d'aéronef limite l'intégration d'équipements audio et par conséquent les systèmes de réseaux de haut-parleurs multiples et/ou de haut-parleurs mobiles permettant une spatialisation sans traitement algorithmique sont peu utilisés pour la restitution de sons 3D.

**[0006]** Différents traitements algorithmiques de spatialisation de son sont aujourd'hui utilisés pour simuler le positionnement des sons dans l'environnement d'un individu :

- les techniques de génération de signaux binauraux sont basées sur la différence de niveau sonore (ILD en langage anglo-saxon pour « Interaural Level Difference ») entre les récepteurs auditifs d'un individu et sur la différence temporelle de réception des signaux sonores (ITD pour Interaural Time difference) entre ces mêmes récepteurs. La figure 1 illustre une série de courbes représentant les différences de niveau sonore en fonction des fréquences du son pour un auditeur selon la position des sources sonores. Pour un son A1 au devant de l'auditeur, la courbe c1 représente la courbe du son en fonction des fréquences. La courbe c2 correspond au son A2 et la courbe c3 correspond au son A3.
- les techniques complémentaires de génération de signaux monauraux font varier le spectre de l'onde sonore en fonction de sa position en lui appliquant la fonction de transfert anatomique de l'individu (HRTF, pour « Head Related Transfer Functions » en langage anglo-saxon). La fonction de transfert anatomique incorpore les effets de dispersion secondaire tels les oreilles externes, les épaules, la forme du crâne, etc... La prise en compte de la HRTF permet d'augmenter la sensibilité à l'élévation d'un son ainsi que la discrimination avant-arrière. A titre d'exemple, la figure 2 représente une série de courbes HRTF pour différentes positions de la source sonore. La courbe c11 représente la fonction HRTF pour le son localisé en A11. La courbe c12 représente la fonction HRTF pour le son localisé en A12. La courbe c13 représente la courbe HRTF pour le son localisé en A13.

**[0007]** L'homme du métier connaît bien ces techniques de spatialisation du son, qui ne font pas l'objet de l'invention. Toutefois à titre d'information, on peut citer les ouvrages « Adaptive 3D sound systems » par John Garas, aux éditions Kluwer Academic Publishers, et « Signals, Sound, and Sensation » par Bill Hartmann aux éditions AIP Press décrivant ces dernières techniques.

**[0008]** On connaît également le brevet WO 2004/006624 A1 décrivant un système de son 3D avionique mettant à profit, pour augmenter la détection de la position du son, l'utilisation d'une base de données HRTF.

**[0009]** Les systèmes actuels de spatialisation du son présentent des limitations de performance en localisation et souvent l'inconvénient d'une localisation de la source sonore ambiguë. En particulier, les performances de localisation d'un son joué devant un auditeur d'un son joué derrière un auditeur, et de la même façon, en élévation restent variables d'un individu à l'autre et globalement insuffisantes.

**[0010]** Des études scientifiques ont montré l'apport des signaux dynamiques à la localisation en élévation et avant -

arrière. On appelle signal dynamique un signal sonore qui n'a pas une localisation constante par rapport à l'individu. Ces travaux se sont inspirés de certains animaux réputés pour leurs capacités auditives, notamment les félins qui bougent leurs récepteurs auditifs pour localiser les sources sonores. Pour illustrer les différents travaux menés sur les signaux dynamiques chez l'humain, on peut notamment citer H. Wallach avec "The role of head movements and vestibular and visual cues in sound localization", J. Exp. Psychol. Vol. 27, 1940, pages. 339-368, W.R. Thurlow et P.S. Runge avec "Effects of induced head movements on localisation of direct sound", The Journal of the Acoustical Society of America., Vol. 42, 1967, pages. 480-487 / 489-493 et S. Perrett et W. Noble avec "The effect of head rotations on vertical plane sound localization", The Journal of the Acoustical Society of America., Vol. 102, 1997, pages. 2325-2332.

[0011] L'article, "Resolution of front-back ambiguity in spatial hearing by listener and source movement", de F.L. Wightman et D.J. Kistler, paru dans The Journal of the Acoustical Society of America, Volume 105, Issue 5, pages. 2841-2853 en mai 1999, synthétise les travaux menés depuis cinquante ans sur l'apport des signaux dynamiques dans la localisation des sons. Cette étude montre de façon empirique que le déplacement du sujet, mouvement de tête par exemple, diminue la confusion en localisation avant et arrière, que le déplacement multidirectionnel de la source à l'initiative d'un sujet contraint à rester immobile diminue la confusion en localisation avant et arrière et le déplacement continu monodirectionnel de la source par une action extérieure au sujet, non commandable par le sujet, ne diminue pas significativement la confusion en localisation avant-arrière.

[0012] Cependant, dans le domaine de l'aéronautique et particulièrement pour les pilotes, il n'est pas toujours possible de bouger sa tête suffisamment à cause de l'espace de débattement restreint des cockpits et des systèmes électroniques intégrés au casque. La tâche du pilote, nécessitant sa pleine concentration sur les systèmes et son champ de vision, est également un facteur de contrainte aux mouvements. Les forts facteurs de charge sous accélération limitent eux aussi les mouvements du pilote et en particulier de sa tête.

[0013] La présente invention a pour but d'éviter les ambiguïtés de localisation d'une source sonore.

[0014] Plus précisément, l'invention concerne un procédé de traitement algorithmique de signaux pour la spatialisation sonore permettant d'associer des signaux sonores à des informations devant être localisées par un auditeur. Les signaux sonores spatialisés sont définis par une position virtuelle d'origine correspondant à la position de l'information, le procédé est **caractérisé en ce que**, par traitement algorithmique, on applique à un signal sonore spatialisé un mouvement décrivant une suite de positions virtuelles dudit signal autour de la position virtuelle d'origine de l'information.

[0015] De préférence, le mouvement autour de la position virtuelle d'origine de l'information est de type oscillatoire.

[0016] Dans un second mode de calcul, le mouvement autour de la position virtuelle d'origine de l'information est de type Aléatoire.

[0017] Cette solution d'amélioration de la localisation des sons 3D se destine particulièrement pour les auditeurs sujets à des contraintes de mouvement et de charges de travail. De manière naturelle, un auditeur donne du mouvement à ses récepteurs auditifs pour mieux localiser un son. L'invention permet à l'auditeur de rester immobile. En effet, la position virtuelle d'origine étant la position spatialisée du son, le mouvement de la source sonore autour de cette position fournit des informations de localisation meilleures que celles d'un mouvement continu monodirectionnel.

[0018] Pour les applications aéronautiques, le système de spatialisation peut également être couplé avec un dispositif de détection de position de casque du pilote. Avantageusement, le mouvement est alors corrélé à l'angle d'écart entre la direction d'écoute de l'auditeur et la position virtuelle d'origine dudit signal sonore. Le mouvement varie alors en fonction de l'orientation du pilote vis-à-vis de l'information à détecter qui est associée au signal sonore.

[0019] De préférence, l'amplitude du mouvement est corrélée à la valeur dudit angle d'écart et l'orientation du mouvement est également corrélée à l'orientation du plan dudit angle d'écart. Le pilote reçoit ainsi une information lui indiquant s'il s'oriente dans le sens de l'information à acquérir.

[0020] De plus, durant le mouvement du signal spatialisé, on applique également une loi de variation de l'intensité sonore sur le signal spatialisé où :

- l'intensité sonore est comprise entre un niveau maximal et un niveau minimal.
- le niveau est maximal lorsque le signal sonore correspond à la position virtuelle d'origine.
- le niveau est minimal pour les positions extrêmes du mouvement oscillatoire.

[0021] Cet effet de spatialisation du son simule un mouvement du signal sonore convergeant vers la position virtuelle d'origine de l'information. Cet effet dynamique améliore la détection du son.

[0022] L'invention concerne également le système de traitement algorithmique de signaux pour la spatialisation sonore comprenant un premier moyen de calcul de spatialisation sonore permettant d'associer des signaux sonores à des informations devant être localisées par un auditeur. Ledit système est **caractérisé en ce qu'il** comporte un second moyen de calcul de trajectoire fournissant des données permettant au premier moyen de calcul de spatialisation d'appliquer un mouvement à un signal sonore spatialisé autour de sa position virtuelle d'origine. Ce mouvement du signal sonore est de préférence oscillatoire.

[0023] Le système comporte également un troisième moyen de calcul d'au moins une loi de variation de l'intensité

d'un signal sonore pour modifier l'intensité du signal sonore spatialisé durant le mouvement oscillatoire.

**[0024]** De préférence, il comporte également un moyen de réception de données de position et le second moyen de calcul de trajectoire calcule l'écart de distance entre la position virtuelle d'origine de la source sonore et la position fournie par le moyen de réception et calcule un mouvement en corrélation avec ledit écart de distance.

**[0025]** Dans un premier mode de mise en oeuvre, le moyen de réception de données de position est relié à un détecteur de position de casque porté par un auditeur.

**[0026]** Dans un second mode de mise en oeuvre, le moyen de réception de données de position est relié à une caméra détectant le positionnement de l'auditeur. Cette caméra n'est pas portée par l'auditeur.

**[0027]** Dans un mode d'application aéronautique, les signaux sonores proviennent d'une base de données sonores de l'aéronef et les dits signaux sonores sont associés à des informations d'au moins un dispositif avionique.

**[0028]** Un premier dispositif avionique est un dispositif de visualisation.

**[0029]** Un deuxième dispositif avionique est un dispositif de navigation.

**[0030]** Un troisième dispositif avionique est un dispositif d'alertes.

**[0031]** L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre donnée à titre non limitatif et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

La figure 3 représente le système de spatialisation pour un système informatique. L'exemple s'applique notamment à un système avionique.

La figure 4 illustre une situation d'alerte dans un cockpit d'aéronef et une application du système de spatialisation du son.

La figure 5 représente une application aéronautique du système de spatialisation et notamment l'oscillation d'un signal sonore autour d'une position virtuelle d'origine. Ce schéma illustre la variation du mouvement d'oscillation en fonction de la position du pilote vis-à-vis de la position virtuelle d'origine du signal sonore et la variation d'intensité du signal en fonction de la position virtuelle du signal sonore dans le mouvement oscillatoire.

La figure 6 illustre la différence temporelle d'arrivée des sons au niveau des oreilles d'un auditeur selon la position des sons.

La figure 7 représente l'effet simulé par la variation de l'intensité sonore sur le mouvement oscillatoire.

**[0032]** L'invention concerne les systèmes de spatialisation du son et un procédé d'amélioration de la localisation d'un son dans l'environnement d'un auditeur. Les résultats obtenus par méthode empirique montre qu'un individu détecte plus facilement l'origine d'un son lorsque celui est en mouvement. Les travaux précités montrent des meilleurs résultats dans les tests de localisation avec un son en mouvement continu. La caractéristique essentielle du procédé de spatialisation est de conférer un mouvement oscillatoire à un son autour de sa position virtuelle d'origine.

**[0033]** Les besoins dans le domaine de l'aéronautique, notamment pour les interfaces homme machine en ce qui concerne le cockpit, plébiscitent particulièrement les techniques de spatialisation du son pour améliorer l'interaction des systèmes de pilotage avec l'équipage. La complexité de ces systèmes, les multiples fonctions pour la navigation, pour la gestion de la sécurité et pour les manoeuvres submergent le pilote d'informations. Ces informations peuvent provenir des systèmes de visualisation, des indicateurs lumineux d'alarmes, des systèmes d'interaction et également des copilotes et équipages navigant pour les communications. Les techniques de son 3D permettent de fournir une indication de la position d'une information. Ainsi le pilote peut mieux percevoir son origine, sa priorité et la nature de l'action à donner en conséquence.

**[0034]** Au sein d'un cockpit d'aéronef, un système de spatialisation du son se situe à la frontière entre les systèmes avioniques et l'interface homme machine. La figure 3 schématise un système de spatialisation dans un cockpit d'aéronef et particulièrement dans un avion d'armes où le pilote porte un casque intégrant un dispositif 6 de détection de position du casque. Ce type d'aéronef comporte plusieurs systèmes avioniques 7, notamment des systèmes d'alertes 71 liés à la navigation permettant d'éviter les collisions ainsi que des systèmes dédiés aux opérations militaires comme des dispositifs de détection de cibles 72 et des dispositifs d'attaque de cible. Les systèmes avioniques peuvent aussi inclure un dispositif 73 de météorologie. Ces systèmes sont le plus souvent couplés à des dispositifs de visualisation. La figure 3 ne représente pas l'ensemble des systèmes avioniques pouvant être associés avec le système de spatialisation. L'homme du métier connaît les architectures avioniques et est capable de mettre en oeuvre un système de spatialisation du son avec tout dispositif avionique émettant des informations au pilote.

**[0035]** La figure 4 schématise une situation particulière montrant l'intérêt d'un système spatialisé avec un système anticollision. Le champ de vision 24 du pilote aux commandes de l'aéronef est orienté vers la gauche à un instant donné. Ce pilote dispose d'un système de haut parleur 21 positionné à l'intérieur du casque au niveau de ses oreilles. Le cockpit de l'aéronef comporte plusieurs visualisations 21-23 et le champ de vision du pilote est orienté vers la visualisation 23. Par exemple, un évènement comme un risque de collision avec le sol détecté par le système anticollision alerte le pilote en affichant sur la visualisation 21 la situation à risque avec les données de navigation à surveiller et les consignes de vol à établir. Le système émet également des alertes sonores associées aux informations de l'écran. Le son spatialisé

associé aux alertes indique au pilote la localisation de l'information à prendre en compte et diminue ainsi sa charge de travail mental grâce au stimulus audio donné par le système de spatialisation. Le temps de réaction du pilote est ainsi réduit.

**[0036]** Un système de spatialisation du son 1 est généralement associé à un dispositif de réception de son et un système de bases de données sonores 81 mémorisant des sons préenregistrés, comme des messages d'alertes synthétisés, des sons de signalisation, des sons d'applications logicielles ou des sons provenant de systèmes de communications internes comme externes à l'aéronef. A titre d'exemple, la spatialisation des communications audio donnent une information supplémentaire sur l'interlocuteur avec qui le pilote est en communication.

**[0037]** Le système de restitution des sons 5 comporte les écouteurs à l'intérieur du casque du pilote et comporte également le système de haut parleur du cockpit. Pour l'utilisation des sons binauraux dans le système de spatialisation, le système de restitution des sons doit être de type stéréophonique pour l'application des effets de différence temporelle des signaux entre les haut-parleurs.

**[0038]** La sortie du module de spatialisation comporte également un dispositif de traitement des signaux permettant d'ajouter des effets supplémentaires sur les signaux spatialisés, comme des effets Trémolo ou effet Doppler par exemple.

**[0039]** Le moyen de calcul de spatialisation du son 2 réalise les traitements algorithmiques des sons pour élaborer les signaux monauraux, réalisant la modification de l'intensité sonore, les signaux binauraux, réalisant la modification de la phase des signaux pour simuler un décalage temporel et la mise en oeuvre des fonctions de transfert anatomique (HRTF).

**[0040]** Les signaux binauraux servent pour la localisation des sources sonores en azimut et nécessitent un système de restitution stéréophonique. Parmi les signaux de type binaural, les moyens de calcul établissent un traitement algorithmique permettant de simuler une distance des sources sonores en modifiant le niveau sonore (ILD) et un décalage temporel entre les sons (ITD).

**[0041]** Les signaux monauraux servent pour la localisation en élévation et pour distinguer une source sonore positionnée au devant ou derrière l'auditeur. Les signaux monauraux ne nécessitent pas de système de restitution stéréophonique. Le système de spatialisation est connecté à une base de données HRTF 82 mémorisant les fonctions de transfert anatomique des pilotes connus. Ces fonctions de transfert peuvent être sur mesures en pour chaque pilote par une mesure individuelle. La base de données peut également comporter plusieurs profils types anatomiques en vu d'être corrélés avec un pilote à la première utilisation du système pour détecter le profil adapté. Cette manipulation est plus rapide que la mesure individuelle.

**[0042]** L'homme du métier connaît les différentes techniques et algorithmes de traitement des signaux élaborés par le moyen de calcul 2 pour la spatialisation sonore.

**[0043]** Pour la mise en oeuvre de l'invention, deux moyens fonctionnels 3 et 4 complètent le moyen de calcul de spatialisation. Le premier moyen 3 a pour fonction de calculer la trajectoire du mouvement oscillatoire devant être conféré au son spatialisé. Le mouvement oscillatoire comporte une trajectoire pouvant varier en élévation et en azimut par rapport à l'auditeur. La trajectoire oscillatoire est comprise dans une plage angulaire dont le sommet de l'angle est centré sur l'auditeur. Pour une application de cockpit d'aéronef comportant un détecteur de position 6 du casque du pilote, le moyen de calcul 3 détermine un angle d'écart entre l'orientation du regard du pilote, indirectement par la position du casque, et la position virtuelle d'origine du signal sonore. La figure 5 schématise l'application de l'invention pour le calcul de la trajectoire du mouvement oscillatoire. Le dessin de gauche représente le cas où l'orientation du pilote est telle que la direction de son champ de vision 42 est fortement décorrélée avec la direction 43 de son champ de vision si celui-ci était orienté vers la position d'origine du signal sonore. L'angle d'écart 31 est calculé par le moyen de calcul 3. Cet angle d'écart peut être dans un plan variant en azimut et en élévation en fonction de l'orientation 42 du champ de vision du pilote. Le moyen de calcul 3 élabore également la trajectoire du mouvement oscillatoire 32 en fonction de cet angle d'écart 31.

**[0044]** La trajectoire du mouvement oscillatoire 32, ou 41 sur le dessin de droite de la figure 5, est fonction de l'angle d'écart 31, ou 36. On définit les coordonnées de la position virtuelle d'origine 33, par une coordonnée en azimut  $a_1$  et une coordonnée en élévation  $e_1$ . De préférence, la trajectoire du mouvement oscillatoire 32 est bidirectionnelle et continue, réalisant ainsi un mouvement oscillatoire en aller-retour selon un arc de cercle lié aux paliers angulaire 44 et 45. Toutefois, le moyen de calcul de trajectoire peut définir une trajectoire pouvant être ovale ou d'une autre forme. La vitesse de balayage de cette trajectoire est également configurable. Elle est de préférence supérieure à la vitesse de déplacement de la tête avec une latence inférieure à 70 ms pour préserver le naturel du son.

**[0045]** La loi définissant la trajectoire de déplacement dépend de paliers angulaires pouvant être définis, à titre d'exemple non limitatif, de la façon suivante :

- Si l'écart angulaire 31 est supérieur à 45°, la position angulaire par rapport au regard du pilote varie de 15°.
- Si l'écart angulaire 31 est compris entre 45° et 20°, la position angulaire par rapport au regard du pilote varie de 10°.
- Si l'écart angulaire 31 est compris entre 20° et 10°, la position angulaire par rapport au regard du pilote varie de 5°.
- Si l'écart angulaire 31 est compris entre 10° et 0°, la position angulaire par rapport au regard du pilote varie de 2°.

## EP 2 194 734 A1

Lorsque l'écart angulaire 31 est égal à 0°, la source sonore ne bouge plus.

**[0046]** Lorsque la trajectoire du mouvement oscillatoire est déterminée par les paliers angulaires, le processus de spatialisation calcule, par le moyen de calcul 2, la trajectoire du mouvement oscillatoire 32 autour de la position virtuelle 33. Les angles calculés sont utilisés par les fonctions de calcul de signaux monauraux et binauraux pour déterminer la trajectoire 32 autour de la position virtuelle d'origine 33. Cette trajectoire 32 comporte une série de plusieurs positions virtuelles délimitée par deux positions extrêmes 34 et 35. Ces deux positions extrêmes sont localisées selon les coordonnées de la position d'origine 33 additionnées de paliers angulaires en azimut 44 et élévation 45. Les signaux ITD et ILD dépendent des angles en azimut et élévation.

**[0047]** Pour comprendre le fonctionnement du module de spatialisation 3, il est nécessaire de définir dans un premier temps les signaux sonores. Dans une application aéronautique de spatialisation du son, on définit un signal sonore comme une vibration perçue par l'oreille humaine, décrit sous forme d'onde sonore et pouvant être représentée dans le domaine temporel et fréquentiel (spectre de l'onde). Mathématiquement, un signal sonore est défini par la formule (1):

$$S(t) = \sum_i a_i \cdot \cos(2\pi \cdot f_i \cdot t + \Phi_i) = f(t)$$

où  $a_i$  est l'amplitude de la  $i^{\text{ème}}$  harmonique,  $f_i$  sa fréquence et  $\Phi_i$  sa phase à l'origine

**[0048]** Calcul du délai temporel interaural (ITD) :

**[0049]** Les signaux ITD comportent une modification de phase afin de simuler une position en azimut différente au moyen d'un décalage temporel du signal entre les oreilles d'un auditeur. Une différence de phase  $\Delta\Phi$  correspond à un décalage temporel interaural (ITD) de  $\Delta t = \Delta\Phi/(2\pi f)$  pour un son de fréquence  $f$ .

Si l'on assimile la tête à une sphère et que l'on considère des formes d'ondes suffisamment longues, le délai temporel

interaural est égal à  $\Delta t = \frac{3a}{c} \cdot \sin \theta$ .

où  $\theta$  est l'angle azimutal,  $a$  le rayon de la tête, environ 8.75 cm, et  $C$  la célérité du son, 344 m/s. Ainsi  $3a/c = 763 \mu s$  environ. La figure 6 représente le diagramme temporel du son pour chaque oreille pour différentes positions de la source sonore. La source sonore A21 représente une première position où la source sonore est du côté de l'oreille gauche de l'auditeur et la source sonore A22 représente une deuxième position où la source sonore est du côté de l'oreille droite de l'auditeur. La source sonore A21 est plus proche de l'auditeur que la source A22 ne l'est.

Ainsi, si  $S_1(t) = f(t)$  où  $f$  est la fonction définie dans la formule (1), alors  $S_2(t) = f(t + \Delta t)$  (formule (2)) avec  $S_1$  le signal reçu sur l'oreille gauche et  $S_2$  le signal reçu sur l'oreille droite.

Sur la ligne temporelle de  $S_1(t)$ , on représente à la fois le son SA21 de la source sonore lorsqu'elle est en position A21 et à la fois le son SA22 lorsqu'elle est en position A22. On représente de même pour la ligne  $S_2(t)$ .

Le son SA21 arrive plus tôt à l'oreille gauche que l'oreille droite car le son est positionné du côté de l'oreille gauche.

Le son SA22 arrive plus tôt à l'oreille droite que l'oreille gauche car le son A22 est positionné du côté de l'oreille droite. Sur une même échelle temporelle, le son SA21 arrive avant le son SA22 car la source sonore A21 est plus proche de l'auditeur que la source A22 ne l'est.

**[0050]** Pour le calcul de la trajectoire 32 du mouvement oscillatoire autour de la position virtuelle d'origine 33 et dans le cas où l'on assimile la tête à une sphère et où l'on considère des formes d'ondes suffisamment longues, pour le calcul

des signaux ITD, le délai temporel interaural pour un azimut  $\theta$  donné varie entre  $\Delta t = \frac{3a}{c} \cdot \sin \theta$  et

$\Delta T = \frac{3a}{c} \cdot \sin(\theta + \text{Palier angulaire})$ ,  $\sin(\theta + \text{Palier angulaire})$ , où  $\theta$  est l'angle azimutal  $a_1$  sur la figure 5. Les

valeurs d'angle évoluant dans la plage de palier angulaire sont utilisées pour le calcul des différentes positions virtuelles constituant la trajectoire 32. Ces valeurs sont injectées dans la formule 2. Les différentes valeurs d'angle comprises dans la plage de palier angulaire définissent les différentes positions virtuelles composant la trajectoire du signal sonore. Les sons doivent avoir une périodicité idéalement inférieure à 70 ms, afin d'éviter les effets artificiels de traînée lorsque l'on tourne la tête. De la même façon, l'empreinte sonore globale doit idéalement durer 250 ms au minimum.

Calcul des signaux ILD :

**[0051]** L'intensité sonore est différente entre l'oreille gauche et l'oreille droite d'un auditeur. La différence de niveau sonore est variable selon un angle entre les deux oreilles.

**[0052]** Le décalage en niveau sonore entre les deux oreilles varie entre la courbe ILD associée à la position virtuelle d'origine 33 du signal sonore et la courbe ILD associée à la position extrême du signal sonore sur la trajectoire de déplacement. Le décalage sonore varie en fonction des paliers angulaires 44 et 45 (azimut et élévation). La figure 1 illustre par exemple une loi d'intensité sonore pouvant être appliquée aux sons.

**[0053]** La valeur des paliers angulaires 44 et 45 varie en fonction de l'orientation du pilote. La loi de régulation des paliers citée précédemment montre que plus l'auditeur s'oriente vers la position d'origine du signal sonore et plus la valeur des paliers angulaires diminue, jusqu'à annulation des paliers pour une direction sensiblement égale à la direction de la position virtuelle d'origine. Le dispositif de détection de position 6 transmet les coordonnées de position au moyen de calcul 3 et selon ces coordonnées les paliers angulaires 44 et 45 diminueront ou augmenteront. Le schéma de droite de la figure 3 correspond à une situation où l'orientation du pilote se rapproche de la position virtuelle d'origine 33 du signal sonore. L'angle d'écart 36 est réduit et par conséquent la nouvelle trajectoire 41 calculée par le module de calcul 2 est d'amplitude plus faible, délimitée par les deux positions 36 et 37.

**[0054]** Les valeurs des HRTFs sont toujours utilisées à partir de la prédétermination faite pour chaque sujet et décrite précédemment.

**[0055]** En plus des ILD, l'invention comporte également pour chaque sujet un moyen de calcul 4 de traitement du signal sonore en sortie du moyen de calcul 2 de spatialisation du son. Ce module 4 réalise une variation de l'intensité sonore d'un signal sonore en fonction des positions du son sur le mouvement oscillatoire.

**[0056]** De préférence, une loi de régulation du son linéaire est appliquée sur un son spatialisé réalisant le mouvement oscillatoire de façon que l'intensité 39 du signal sonore soit diminuée d'un nombre prédéfini de dB lorsque la position du signal sonore est localisée à une position extrême du mouvement oscillatoire, ces positions correspondant, sur la figure 3, aux positions 34 et 35 du mouvement oscillatoire 32, et l'intensité 40 du signal sonore est maximale lorsque la position du signal sonore est localisée sur la position virtuelle d'origine 33 du signal sonore. Une loi de régression linéaire peut par exemple déterminer les positions intermédiaires ayant un niveau d'intensité sonore intermédiaire entre l'intensité maximale et l'intensité diminuée.

**[0057]** Comme représenté par la figure 7, le module de traitement du son permet :

- de simuler un éloignement par rapport à la position du signal sonore lorsque les positions du signal sonore durant le mouvement oscillatoire se rapprochent d'une position extrême du mouvement oscillatoire
- de simuler un rapprochement du signal sonore lorsque les positions du signal durant le mouvement oscillatoire se rapprochent de la position virtuelle d'origine du son spatialisé.

**[0058]** L'intensité du signal sonore est en effet moins forte pour un signal éloigné de sa position réelle. Pour l'auditeur, cette variation de l'intensité simule une distance 51 entre l'auditeur et une position extrême du mouvement oscillatoire élevée. Tandis que pour la position virtuelle d'origine, la distance 52 simulée est faible. La modification de l'intensité simule une convergence spatiale du mouvement oscillatoire vers la position d'origine. La loi de variation de l'intensité sonore peut être indépendante de l'écart angulaire entre le regard du pilote et la direction de la source sonore. La variation peut également être aléatoire, c'est à dire non continue entre la position d'origine et les extrêmes.

**[0059]** De préférence, la durée d'un son est supérieure à 250 ms. Idéalement, la durée doit même être supérieure à 5 s afin de profiter pleinement des signaux dynamiques associés.

**[0060]** Tout type de système de restitution du son peut être utilisé : un système comportant un haut-parleur, un système comportant plusieurs haut-parleurs, un système de transducteurs cartilagineux, un système à bouchons avec ou sans fils, etc...

**[0061]** Le procédé de spatialisation du son s'applique à tout type d'application dont les besoins requièrent la localisation d'un son. Elle s'adresse particulièrement aux applications associant un son à une information devant être prise en compte par un auditeur. Elle s'applique au domaine de l'aéronautique pour l'interaction homme machine des systèmes avioniques avec le pilote, pour des applications de simulateurs immergeant un individu (système de réalité virtuelle par exemple ou simulateur avion) et également au domaine automobile pour des systèmes devant alerter le conducteur d'un danger et fournir une indication de l'origine du danger.

## Revendications

1. Procédé de traitement algorithmique de signaux pour la spatialisation sonore permettant d'associer des signaux sonores à des informations devant être localisées par un auditeur, les signaux sonores spatialisés étant définis par

- une position virtuelle d'origine (33) correspondant à la position de l'information, **caractérisé en ce que**, par traitement algorithmique, on applique à un signal sonore spatialisé un mouvement (32) décrivant une suite de positions virtuelles (33-35) dudit signal autour de la position virtuelle d'origine de l'information (33) et **en ce que** durant le mouvement du signal spatialisé, on applique une loi de variation de l'intensité sonore sur le signal spatialisé, l'intensité sonore étant comprise entre un niveau maximal (40) et un niveau minimal (39), le niveau étant maximal lorsque le signal sonore correspond à la position virtuelle d'origine (33) et le niveau étant minimal pour les positions extrêmes (34 et 35) du mouvement (32).
- 5
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le mouvement autour de la position virtuelle d'origine de l'information est de type oscillatoire.
- 10
3. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le mouvement autour de la position virtuelle d'origine de l'information est de type Aléatoire.
- 15
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le mouvement est corrélé à l'angle d'écart (31) entre la direction (42) du regard de l'auditeur et la position virtuelle d'origine (33) dudit signal sonore.
- 20
5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** l'amplitude du mouvement oscillatoire est corrélée à la valeur dudit angle d'écart (31).
- 25
6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'orientation du mouvement oscillatoire (32) est corrélée à l'orientation du plan dudit angle d'écart.
- 30
7. Système de traitement algorithmique de signaux pour la spatialisation sonore comprenant un premier moyen de calcul (2) de spatialisation sonore permettant d'associer des signaux sonores à des informations devant être localisées par un auditeur, les signaux sonores spatialisés étant définis par une position virtuelle d'origine correspondant à la position d'une information, ledit système étant **caractérisé en ce qu'**il comporte un second moyen de calcul de trajectoire (3) fournissant des données permettant au premier moyen de calcul de spatialisation (2) d'appliquer un mouvement à un signal sonore spatialisé autour de sa position virtuelle d'origine et **en ce qu'**il comporte un troisième moyen de calcul (4) d'au moins une loi de variation de l'intensité d'un signal sonore pour modifier l'intensité du signal sonore spatialisé durant le mouvement oscillatoire.
- 35
8. Système selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'**il comporte un moyen de réception de données de position et **en ce que** le second moyen de calcul de trajectoire (3) calcule l'angle d'écart entre la position virtuelle d'origine de la source sonore et la position fournie par le moyen de réception et calcule un mouvement oscillatoire en corrélation avec ledit écart de distance.
- 40
9. Système selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le moyen de réception de données de position est relié à un détecteur de position de casque (6) porté par un auditeur.
- 45
10. Système selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** le moyen de réception de données de position est relié à une caméra non portée par l'auditeur détectant le positionnement de l'auditeur.
- 50
11. Système selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** les signaux sonores proviennent d'une base de données sonores d'un aéronef et **en ce que** les dits signaux sonores sont associés à des informations d'au moins un dispositif avionique (71-73).
- 55
12. Système selon la revendication 11, **caractérisé en ce qu'**un premier dispositif avionique est un dispositif de visualisation.
13. Système selon la revendication 12, **caractérisé en ce qu'**un deuxième dispositif avionique est un dispositif de navigation.
14. Système selon la revendication 13, **caractérisé en ce qu'**un troisième dispositif avionique est un dispositif d'alertes.

Différence de niveau sonore (dB)

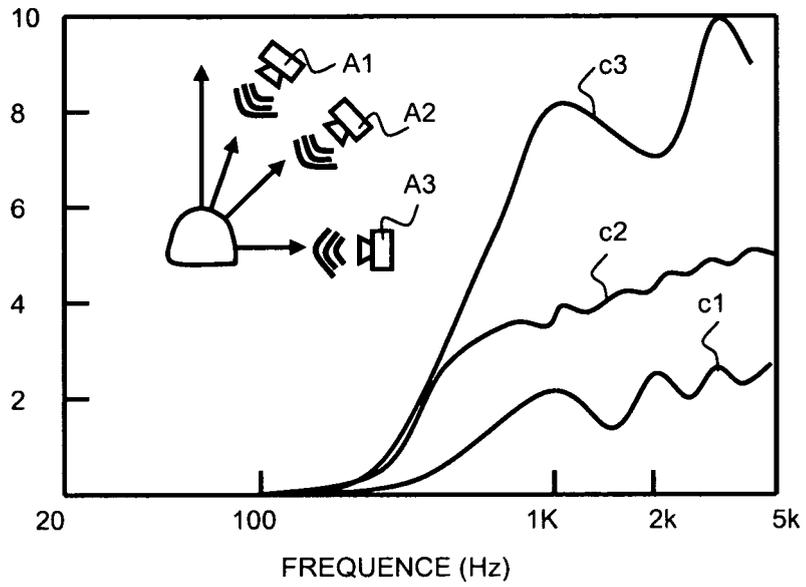


Fig. 1

Niveau (dB)

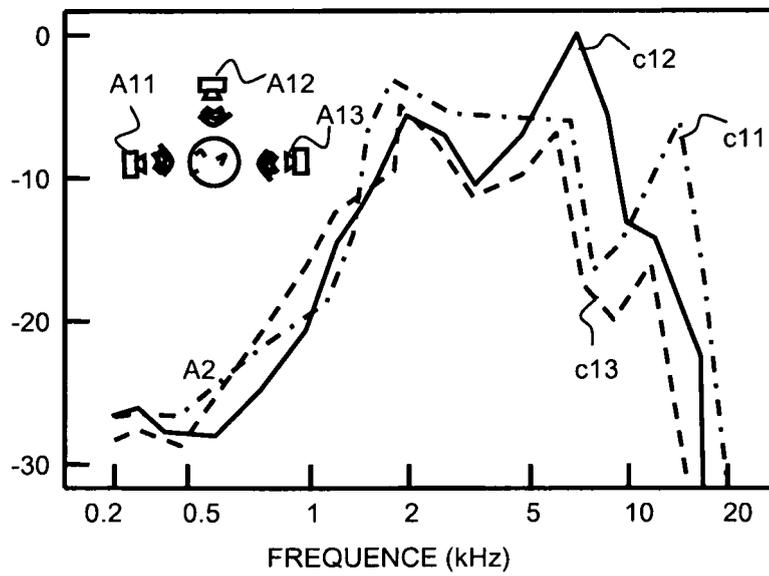


Fig.2

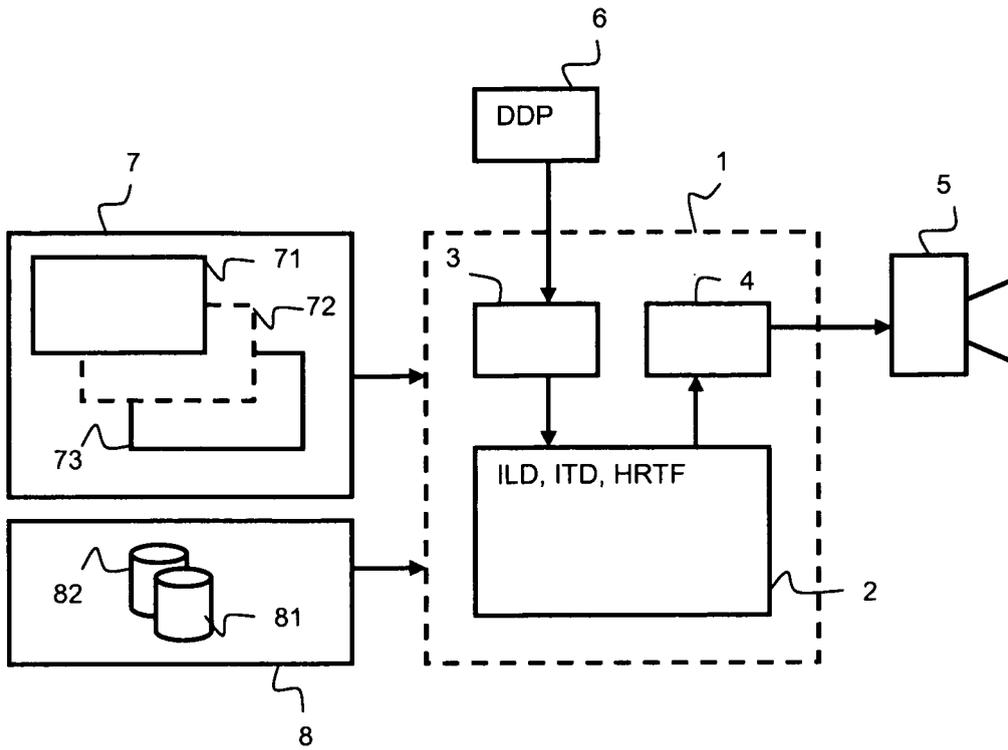


Fig. 3

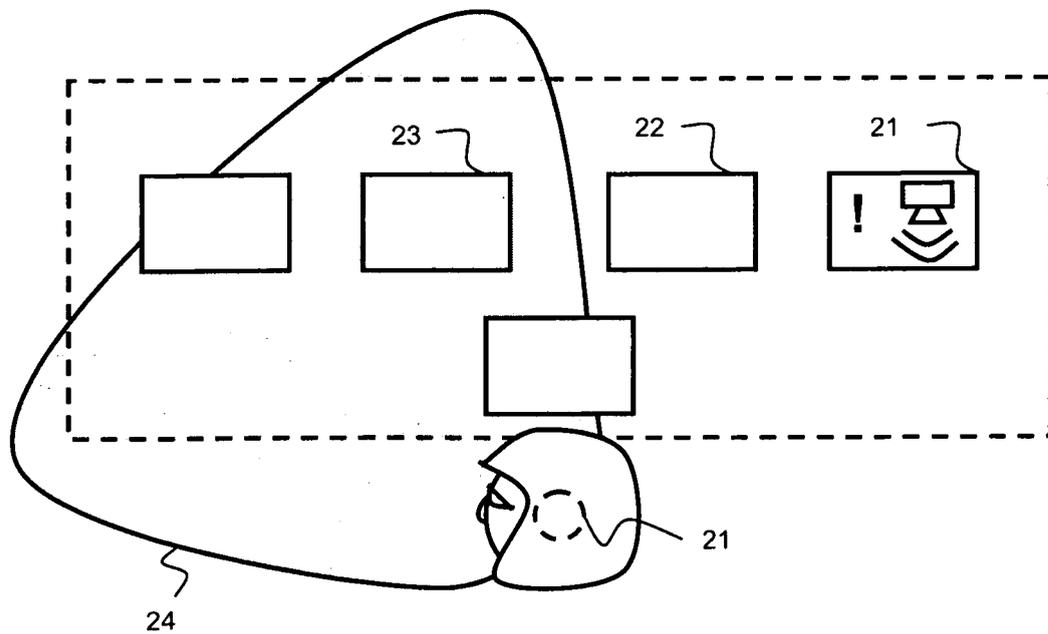


Fig. 4

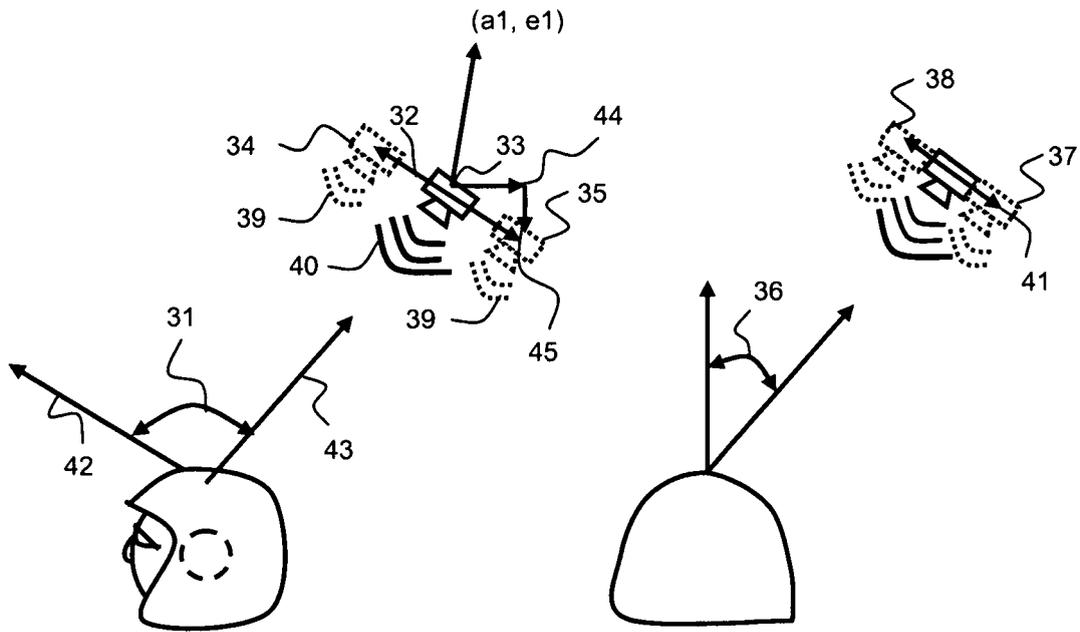


Fig. 5

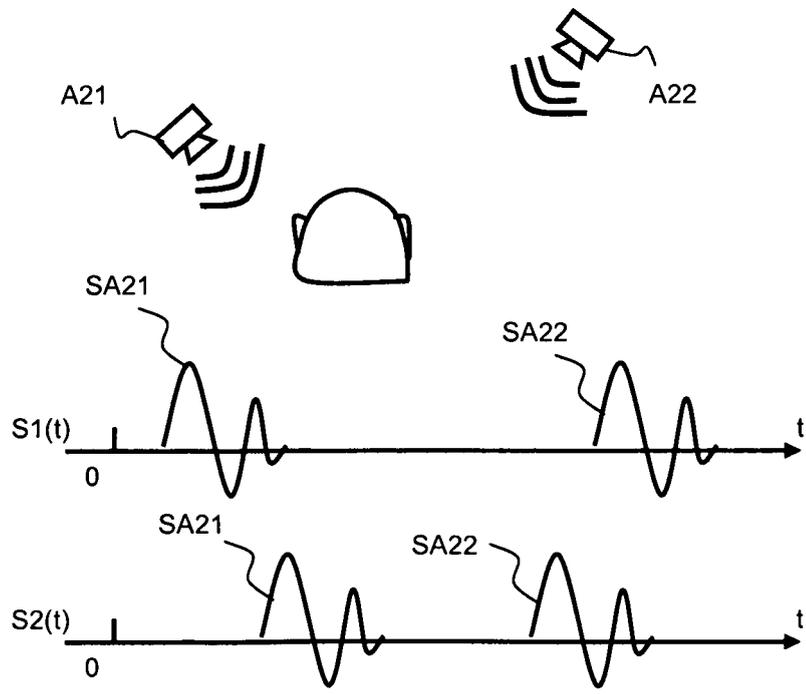


Fig. 6

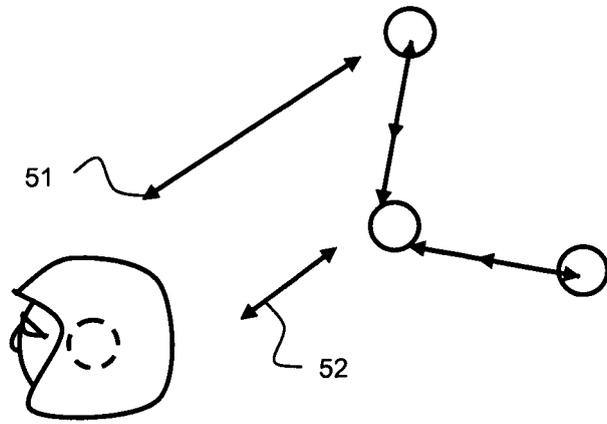


Fig. 7



Europäisches  
Patentamt  
European  
Patent Office  
Office européen  
des brevets

## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 09 17 4579

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	DURAND R BEGAULT: "3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia" NASA/TM-2000-000000, XX, XX, 1 janvier 2000 (2000-01-01), pages 1-246, XP002199910	1-3,7, 9-14	INV. H04S7/00
A	* page 39 - page 40 * * page 99 * * page 132 - page 133 * * page 190 - page 192 * -----	4-6,8	
X	US 2006/018497 A1 (KORNAGEL ULRICH [DE]) 26 janvier 2006 (2006-01-26) * alinéa [0009] - alinéa [0010] * * alinéa [0016] - alinéa [0017] * * alinéa [0026] *	1,7	
D,A	FR 2 842 064 A (THALES SA [FR]) 9 janvier 2004 (2004-01-09) * le document en entier *	1-14	
A	US 2003/059070 A1 (BALLAS JAMES A [US]) 27 mars 2003 (2003-03-27) * le document en entier *	1-14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H04S
D,A	WIGHTMAN FREDERIC L ET AL: "Resolution of front-back ambiguity in spatial hearing by listener and source movement" JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AIP / ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, MELVILLE, NY, US, vol. 105, no. 5, 1 mai 1999 (1999-05-01), pages 2841-2853, XP012000962 ISSN: 0001-4966 * le document en entier *	1-10	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		8 février 2010	Guillaume, Mathieu
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

1  
EPO FORM 1503\_03\_82 (F04C02)

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

EP 09 17 4579

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.

08-02-2010

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2006018497 A1	26-01-2006	AT 387830 T	15-03-2008
		DE 102004035046 A1	21-07-2005
		DK 1619928 T3	30-06-2008
		EP 1619928 A1	25-01-2006
-----			
FR 2842064 A	09-01-2004	AT 390029 T	15-04-2008
		AU 2003267499 A1	23-01-2004
		CA 2490501 A1	15-01-2004
		DE 60319886 T2	23-04-2009
		EP 1658755 A1	24-05-2006
		ES 2302936 T3	01-08-2008
		WO 2004006624 A1	15-01-2004
		US 2005271212 A1	08-12-2005
-----			
US 2003059070 A1	27-03-2003	US 2006056639 A1	16-03-2006
-----			

EPO FORM P0480

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

## 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

- WO 2004006624 A1 [0008]

### Littérature non-brevet citée dans la description

- **H. Wallach.** The role of head movements and vestibular and visual cues in sound localization. *J. Exp. Psychol.*, 1940, vol. 27, 339-368 [0010]
- **W.R. Thurlow ; P.S. Runge.** Effects of induced head movements on localisation of direct sound. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1967, vol. 42, 480-487-489-493 [0010]
- **S. Perrett ; W. Noble.** The effect of head rotations on vertical plane sound localization. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1997, vol. 102, 2325-2332 [0010]
- **F.L. Wightman ; D.J. Kistler.** Resolution of front-back ambiguity in spatial hearing by listener and source movement. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Mai 1999, vol. 105 (5), 2841-2853 [0011]