



(11) **EP 3 968 660 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
16.03.2022 Bulletin 2022/11

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H04S 7/00 (2006.01) **H04R 29/00** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **21194020.0**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H04S 7/30; **H04R 29/00**; **H04R 2499/13**;
H04S 2400/11

(22) Date de dépôt: **31.08.2021**

(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: **Arkamys**
92300 Levallois-Perret (FR)

(72) Inventeur: **JACQUET, Damien**
75015 PARIS (FR)

(74) Mandataire: **Ipside**
6, Impasse Michel Labrousse
31100 Toulouse (FR)

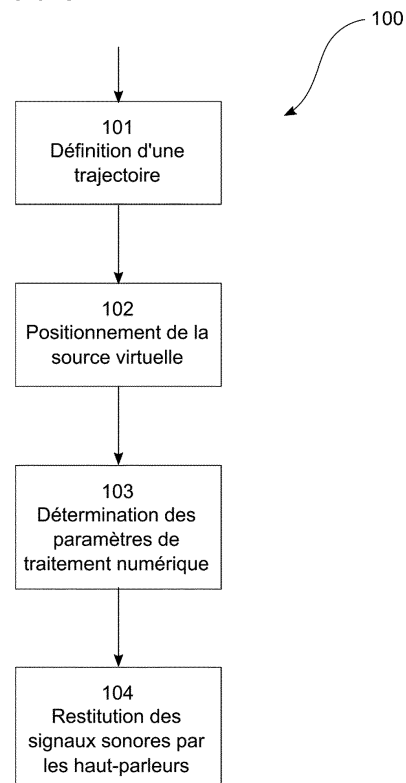
(30) Priorité: **09.09.2020 FR 2009123**

(54) **PROCÉDÉ DE SPATIALISATION SONORE**

(57) L'invention concerne un procédé de spatialisation sonore (100) comportant :

- une étape de détermination (103) de paramètres de traitement numérique à appliquer à des signaux sonores à diffuser par un ensemble d'au moins deux haut-parleurs pour reproduire une source sonore virtuelle en une position souhaitée ;
- une étape de restitution (104) des signaux sonores par les haut-parleurs au cours de laquelle les paramètres de traitement numérique sont appliqués aux signaux sonores ; Selon l'invention, le procédé de spatialisation sonore (100) comporte par ailleurs :
 - une étape (101) de définition d'une trajectoire (T) définie par un ensemble de N points (P1,...,PN), deux points consécutifs de ladite trajectoire étant reliés entre eux par une courbe ;
 - une étape (102) de positionnement au cours de laquelle la position souhaitée de la source sonore virtuelle (VS) est définie sur ladite trajectoire.

[Fig. 3]



EP 3 968 660 A1

Description

Domaine technique

- 5 [0001] La présente invention concerne un procédé de spatialisation sonore.
 [0002] La présente invention trouve une application particulière dans le domaine de la reproduction stéréophonique en contexte automobile.

Technique antérieure

- 10 [0003] La spatialisation sonore vise à créer un environnement sonore autour d'un auditeur afin de lui donner l'impression que le son qu'il perçoit provient d'une source localisée en un point précis de son environnement.
 [0004] Il existe plusieurs méthodes de spatialisation sonore, parmi lesquelles la panoramisation d'amplitude (*amplitude panning* en terminologie anglo-saxonne), la panoramisation de retard (*delay panning* en terminologie anglo-saxonne).
 15 [0005] La panoramisation d'amplitude consiste à jouer sur les intensités des diverses sources sonores (typiquement des haut-parleurs), afin de créer une source sonore virtuelle pouvant être déplacée dans l'environnement en faisant varier les intensités des sources sonores. La méthode VBAP (*Vector Base Amplitude Panning* en terminologie anglo-saxonne), présentée dans « Virtual Sound Source Positioning Using Vector Base Amplitude Panning », Ville Pulkki, Laboratory of Acoustics and Audio Signal Processing, Helsinki University of Technology, permet par exemple de recréer
 20 des champs acoustiques en deux ou trois dimensions au moyen d'un nombre quelconque de sources sonores.
 [0006] La panoramisation de retard tient compte de la différence de temps interaurale (*Interaural Time Difference* ou ITD en terminologie anglo-saxonne) pour donner une impression de source localisée à un angle précis par rapport à la tête de l'auditeur. Cette méthode s'applique à deux sources sonores (typiquement des haut-parleurs) situées de part et
 25 d'autre du plan de symétrie de la tête de l'utilisateur. Un retard est appliqué au signal diffusé par l'un des deux haut-parleurs, afin de créer une source virtuelle en-dehors du plan de symétrie. Plus le retard est important, plus l'angle formé par la source virtuelle et le plan de symétrie est important.
 [0007] D'autres méthodes existent afin de réaliser une spatialisation sonore. Il est par exemple possible de jouer sur le ratio entre son direct et son réverbéré afin de créer une impression de distance, ou au contraire une impression de proximité. L'impression de profondeur peut également être apportée au moyen d'un filtre passe-bas modélisant l'ab-
 30 sorption par l'air des hautes fréquences.
 [0008] Cependant, la plupart des technologies de spatialisation sonore existantes sont sensibles aux erreurs de positionnement relatif entre haut-parleurs et auditeur. Ainsi, une légère erreur de configuration lors de la mise en place des méthodes de spatialisation sonore crée une perception erronée de la position de la source virtuelle.
 [0009] La figure 1 illustre un habitacle de véhicule dans lequel sont disposés quatre haut-parleurs : un haut-parleur
 35 avant gauche FL, un haut-parleur avant droit FR, un haut-parleur arrière gauche RL et un haut-parleur arrière droit RR.
 [0010] La position d'une tête d'un auditeur, lequel est installé sur le siège conducteur, est symbolisée par une croix.
 [0011] La figure 2A illustre, sous forme de diagrammes cartésiens et polaires, les amplitudes à appliquer aux signaux diffusés par chacun des haut-parleurs en fonction d'une position angulaire θ d'une source virtuelle VS, symbolisée par un carré plein sur la figure 1, que l'on cherche à créer :
 40
 - la courbe d'amplitude à appliquer au haut-parleur avant gauche FL est représentée en trait interrompu ;
 - la courbe d'amplitude à appliquer au haut-parleur avant droit FR est représentée en trait continu ;
 - la courbe d'amplitude à appliquer au haut-parleur arrière gauche RL est représentée en trait pointillé ;
 - la courbe d'amplitude à appliquer au haut-parleur arrière droit RR est représentée en trait mixte.
 45
 [0012] La position angulaire θ de la source virtuelle VS est définie comme l'angle formé par la droite passant par la tête de l'auditeur et la source virtuelle VS avec l'axe OX tel que défini sur la figure 1.
 [0013] Les diagrammes cartésien et polaire situés en partie supérieure de la figure 2A représentent les amplitudes à appliquer pour une position de la tête de l'auditeur telle que représentée sur la figure 1.
 50 [0014] Les diagrammes cartésien et polaire situés en partie inférieure représentent les amplitudes à appliquer pour une position de la tête de l'auditeur décalée de dix centimètres vers la gauche par rapport à sa position sur la figure 1, c'est-à-dire de dix centimètres dans le sens des abscisses X négatifs.
 [0015] De la même manière, la figure 2B illustre, sous forme de diagrammes cartésiens et polaires, les retards à appliquer aux signaux diffusés par chacun des haut-parleurs en fonction de la position angulaire θ d'une source virtuelle VS que l'on cherche à créer, en combinaison aux amplitudes représentées sur la figure 2A.
 55 [0016] Les conventions de trait sont les mêmes que celles de la figure 2A.
 [0017] De même, les diagrammes cartésien et polaire situés en partie supérieure de la figure 2B représentent les retards à appliquer pour une position de la tête de l'auditeur telle que représentée sur la figure 1.

[0018] Les diagrammes cartésien et polaire situés en partie inférieure représentent les retards à appliquer pour une position de la tête de l'auditeur décalée de dix centimètres vers la gauche par rapport à sa position sur la figure 1, c'est-à-dire de dix centimètres dans le sens des abscisses X négatifs.

[0019] Il peut être constaté, par exemple sur la figure 2A, que la création d'une source virtuelle présentant une position angulaire de 70°, sur la base d'une position de la tête de l'auditeur intégrant une erreur de dix centimètres dans le sens des abscisses négatifs, correspondant sur le diagramme cartésien de la partie inférieure au croisement des courbes des haut-parleurs avant gauche et droite, correspond en réalité, d'après le diagramme cartésien de la partie supérieure, à une position angulaire de 75°. Une erreur de dix centimètres sur la position de la tête de l'auditeur entraîne donc ici un décalage angulaire de cinq degrés sur la position angulaire de la source virtuelle. Ainsi, le conducteur perçoit la source virtuelle avec une position angulaire de 75° au lieu de la position angulaire de 70° souhaitée initialement.

Exposé de l'invention

[0020] L'invention concerne un procédé de spatialisation sonore comportant :

- une étape de détermination de paramètres de traitement numérique à appliquer à des signaux sonores à diffuser par un ensemble d'au moins deux haut-parleurs pour reproduire une source sonore virtuelle en une position souhaitée ;
- une étape de restitution des signaux sonores par les haut-parleurs au cours de laquelle les paramètres de traitement numérique sont appliqués aux signaux sonores ;

[0021] Selon l'invention, le procédé de spatialisation sonore comporte par ailleurs :

- une étape de définition d'une trajectoire définie par un ensemble de N points, deux points consécutifs de ladite trajectoire étant reliés entre eux par une courbe ;
- une étape de positionnement au cours de laquelle la position souhaitée de la source sonore virtuelle est définie sur ladite trajectoire.

[0022] Dans un mode de mise en œuvre, la trajectoire a une forme de lignée brisée, les courbes reliant les points étant des segments.

[0023] Dans un mode de mise en œuvre, le positionnement de la source sonore virtuelle est réalisé en utilisant un indice de position IpX associé de manière unique à un point X quelconque de la trajectoire et défini par :

[Math 1]

$$IpX = \frac{j - 1 + \alpha}{N - 1}$$

où α est un nombre réel compris entre 0 et 1, et j un entier compris entre 1 et N-1.

[0024] Dans un mode de mise en œuvre, le positionnement de la source sonore virtuelle le long de la trajectoire est réalisé manuellement par un opérateur.

[0025] Dans un mode de mise en œuvre, la position de la source sonore virtuelle est définie au cours de l'étape de positionnement de la manière suivante :

- il est déterminé un ensemble d'images projetées, sur la trajectoire, d'un objectif de position de la source sonore virtuelle, en déterminant pour chaque courbe de ladite trajectoire, une intersection, si elle existe, entre ledit segment et une droite passant par un point définissant une position d'un auditeur et l'objectif de position de la source sonore virtuelle, ladite intersection définissant alors une source sonore virtuelle potentielle ;
- si au moins une source sonore virtuelle potentielle existe, la position de la source sonore virtuelle est définie comme la source sonore virtuelle potentielle minimisant une distance à l'objectif de position de la source sonore virtuelle.

[0026] Dans un mode de mise en œuvre, en l'absence de source sonore virtuelle potentielle, il est réalisé l'une des actions suivantes :

- la source sonore virtuelle est positionnée en une position par défaut définie au préalable, par exemple à un mètre devant l'auditeur ;
- la source sonore virtuelle est positionnée sur la trajectoire en un point présentant une position angulaire la plus

proche, par rapport à l'auditeur, de celle de l'objectif de position de la source sonore virtuelle ;

- la trajectoire est modifiée pour couvrir une zone d'intérêt plus large, mais comprenant des points communs avec la trajectoire initiale.

5 **[0027]** Dans un mode de mise en œuvre, un mouvement de la position source sonore virtuelle est prédéfini, le long de la trajectoire, pour une durée totale de mouvement t_{total} , selon la relation :

[Math 2]

10

$$IpX(t) = \frac{t}{t_{total}}$$

où t est une variable désignant le temps et comprise entre 0 et t_{total} .

15 **[0028]** L'invention concerne également un dispositif pour la mise en œuvre du procédé de spatialisation sonore selon l'invention. Selon l'invention, le dispositif comporte :

- des moyens pour définir une trajectoire ;
- des moyens pour déterminer une position souhaitée d'une source sonore virtuelle sur ladite trajectoire ;
- 20 - des moyens pour déterminer des paramètres de traitement numérique à appliquer à des signaux sonores à diffuser par un ensemble d'au moins deux haut-parleurs pour produire une source sonore virtuelle en une position souhaitée ;
- des moyens pour appliquer les paramètres de traitement numérique aux signaux sonores ;
- des moyens pour restituer les signaux sonores auxquels ont été appliqués les paramètres de traitement numérique.

25 Brève description des dessins

[0029]

30 [Fig. 1] représente un habitacle de véhicule comportant quatre haut-parleurs paramétrés pour reproduire une source sonore virtuelle.

[Fig. 2A] représente, sous forme de diagrammes cartésiens et polaires, les amplitudes à appliquer aux signaux diffusés par les haut-parleurs du véhicule de la figure 1, selon la position angulaire souhaitée de la source virtuelle, pour deux positions différentes de la tête d'un conducteur.

35 [Fig. 2B] représente, sous forme de diagrammes cartésiens et polaires, les retards à appliquer aux signaux diffusés par les haut-parleurs du véhicule de la figure 1, selon la position angulaire souhaitée de la source virtuelle, pour deux positions différentes de la tête d'un conducteur.

[Fig. 3] est une représentation schématique du procédé selon l'invention.

[Fig. 4] est une représentation d'une trajectoire présentant une forme de ligne brisée.

40 [Fig. 5A] est une représentation d'une trajectoire T correspondant sensiblement à un contour de voiture dans un plan horizontal.

[Fig. 5B] est une représentation d'une trajectoire T sensiblement circulaire disposée autour d'une voiture, dans un plan horizontal.

[Fig. 6A] est une représentation d'une trajectoire T et d'un véhicule, la trajectoire permettant de couvrir un secteur angulaire de 180 degrés, et une distance au conducteur de l'ordre de cinq mètres.

45 [Fig. 6B] est une représentation isolée de la trajectoire T de la figure 6A.

Description détaillée

50 **[0030]** L'invention est décrite dans ce qui suit dans un contexte automobile, en particulier dans le cadre de la spatialisation sonore à l'intérieur d'un habitacle de véhicule. L'homme du métier comprendra que l'invention peut toutefois être appliquée à un autre environnement que celui d'un véhicule.

[0031] L'habitacle du véhicule comporte un ensemble d'au moins deux haut-parleurs. Dans les exemples illustrés, il est retenu un nombre de quatre haut-parleurs, sans que cela soit limitatif de l'invention qui peut s'appliquer à un nombre différent de haut-parleurs.

55 **[0032]** En référence à la figure 3, le procédé 100 selon l'invention comporte une première étape 101 de définition d'une trajectoire.

[0033] Au cours de cette première étape 101, il est défini dans un plan parallèle au sol un ensemble de N points P_i définissant une trajectoire T. L'indice i est ici un indice entier muet allant de 1 à N.

[0034] La trajectoire T décrite ici a une forme de ligne brisée. L'homme du métier comprendra à la lecture de ce qui suit que cette forme de ligne brisée n'est pas limitative de l'invention et que d'autres types de trajectoires peuvent être utilisées, par exemple deux points d'une trajectoire pourraient être reliés entre eux par un arc de cercle.

[0035] Chaque point P_i est défini par ses coordonnées dans le plan, à savoir une abscisse P_{i_x} et une ordonnée P_{i_y} , ce qui s'écrit sous la forme matricielle :

[Math 3]

$$P_i = \begin{bmatrix} P_{i_x} \\ P_{i_y} \end{bmatrix}$$

[0036] Un point quelconque X appartient à la trajectoire T si et seulement si il existe un couple (a ;j) tel que :

[Math 4]

$$X = P_j + \alpha(P_{j+1} - P_j)$$

[0037] Où α est un nombre réel compris entre 0 et 1, et j un entier compris entre 1 et N-1.

[0038] La figure 4 représente une trajectoire T définie par sept points, et la position d'un point X quelconque repéré par le couple (0.6 ;4).

[0039] Il est avantageusement défini un indice de position IpX permettant de repérer de manière unique tout point X sur la trajectoire T :

[Math 5]

$$IpX = \frac{j - 1 + \alpha}{N - 1}$$

[0040] Les coordonnées du point X peuvent être retrouvées par application des formules suivantes :

[Math 6]

$$j = E(IpX \times (N - 1))$$

$$\alpha = IpX - j$$

$$X = P_j + \alpha(P_{j+1} - P_j)$$

[0041] Où E(.) désigne l'opérateur partie entière.

[0042] Avantageusement, les points P_i de la trajectoire sont placés de telle sorte des éléments notables du véhicule tel que par exemple le centre du volant ou le levier de vitesse correspondent à des valeurs notables de l'indice de position IpX , par exemple un indice de position IpX égal à 0,1 ou 0,5.

[0043] Le procédé 100 comporte ensuite une seconde étape 102 de positionnement d'une source virtuelle VS sur la trajectoire T.

[0044] Le positionnement de la source virtuelle VS sur la trajectoire T est réalisé en fixant manuellement par un opérateur, ou de manière automatisée, comme il sera détaillé par la suite, l'indice de position IpX .

[0045] Le procédé 100 comporte ensuite une troisième étape 103 de détermination des paramètres de traitement numérique à appliquer aux signaux à diffuser par les haut-parleurs.

[0046] La détermination des paramètres de traitement numérique est réalisée au moyen des techniques connues de l'homme du métier de spatialisation sonore, telles que par exemple panoramisation de retard et panoramisation d'amplitude.

[0047] Les paramètres de traitement numérique peuvent inclure par exemple gains, retard, filtres, et dépendent notamment de la position de la source VS et de la géométrie de l'habitacle de véhicule.

[0048] Le procédé 100 comporte ensuite une quatrième étape 104 de restitution des signaux sonores par les haut-parleurs, sur la base des paramètres déterminés à l'étape précédente, qui sont appliqués aux signaux à diffuser par les

haut-parleurs.

[0049] L'invention va maintenant être détaillée dans le cadre de trois modes de mise en œuvre particulier.

[0050] Dans un premier mode de mise en œuvre, l'invention est appliquée dans le contexte de sons statiques.

[0051] On entend par « sons statiques » des sons dont la localisation sonore ou scène sonore, est supposée invariable lors de l'utilisation du véhicule.

[0052] Il peut s'agir par exemple :

- de musique écoutée depuis un lecteur CD-ROM ou mp3 du véhicule, pour laquelle la scène sonore est généralement placée vers l'avant du véhicule ;
- des signaux sonore liés à la conduite, par exemple un clignotant localisé à proximité du volant.

[0053] Dans ces cas-là, un objectif particulier de scène sonore est recherché, et une trajectoire T est avantageusement utilisée pour permettre à un premier opérateur de placer la source virtuelle VS manuellement, en faisant varier l'indice de position IpX, un second opérateur évaluant le rendu sonore depuis l'intérieur du véhicule.

[0054] Le second opérateur peut être installé indifféremment sur le siège conducteur ou sur un siège passager, selon l'objectif recherché.

[0055] La trajectoire T est définie de telle sorte qu'elle couvre un secteur angulaire suffisamment important par rapport au second opérateur afin de lui permettre d'évaluer une large gamme de positions de la source virtuelle VS, afin de sélectionner celle qui lui semble la plus pertinente, c'est-à-dire la plus en cohérence avec l'objectif de scène sonore recherché. Avantageusement, la trajectoire T permet également au premier opérateur de faire varier la distance radiale de la source virtuelle VS au second opérateur de manière à ajuster la réverbération perçue par ledit second opérateur.

[0056] La source virtuelle VS est ensuite déplacée le long de la trajectoire T par le premier opérateur, par exemple en faisant varier au moyen d'une interface opérateur le couple (a ; j) ou plus simplement l'index de position IpX associés de manière unique à une position sur la trajectoire T.

[0057] Le déplacement de la source virtuelle VS peut être réalisé de manière continue ou de manière discrète.

[0058] La source virtuelle VS est arrêtée à la position jugée par le second opérateur comme la plus pertinente en regard de l'objectif recherché.

[0059] Les étapes de détermination de paramètres de traitement numérique 103 et de restitution des signaux par les haut-parleurs 104 sont ensuite appliquées.

[0060] Dans un second mode de mise en œuvre, l'invention est appliquée en temps réel.

[0061] Il s'agit de réaliser la spatialisation sonore de sons dont une localisation sonore est voulue variable lors de l'utilisation du véhicule.

[0062] Par exemple, un signal sonore peut être émis pour prévenir le conducteur d'un danger potentiel dans l'environnement du véhicule, la localisation sonore étant amenée à évoluer afin de s'adapter à la position du danger dans ledit environnement. Il peut s'agir par exemple de prévenir le conducteur de la présence d'un piéton ou d'un véhicule dans une zone d'angle mort.

[0063] Dans ce mode de mise en œuvre, la localisation sonore n'est pas définie a priori et est susceptible d'évoluer avec le temps, par exemple pour suivre le déplacement du piéton ou du véhicule.

[0064] En conséquence, dans ce mode de mise en œuvre la position de la source virtuelle VS est approchée comme il va être vu par la suite, pour tenir compte d'un paramètre P fourni par un système auxiliaire, typiquement un système d'aide à la conduite automobile (« *Advanced Driver-Assistance System* » ou ADAS en terminologie anglo-saxonne).

[0065] La trajectoire T est ici définie de manière à couvrir le secteur angulaire et la distance au conducteur les plus larges possible en fonction d'une zone supposée dans laquelle la source sonore virtuelle VS est supposée se trouver approximativement.

[0066] A titre d'exemple, en référence à la figure 5A, il est défini une trajectoire T correspondant sensiblement à un contour de la voiture dans un plan horizontal.

[0067] Dans l'exemple illustré, les points Pi correspondent à des éléments notables du véhicule, afin de faciliter la mise en œuvre du procédé à un opérateur, notamment :

IpX = 0 ; Feu arrière gauche ;
IpX = 0,5 ; Feu avant droit ;
IpX = 1 ; Point central arrière de la voiture ;

[0068] La trajectoire T peut également avoir une forme sensiblement circulaire, comme illustré sur la figure 5B.

[0069] Ces deux exemples permettent de couvrir un secteur angulaire de 360 degrés.

[0070] En référence aux figures 6A et 6B, une trajectoire T est définie permettant de couvrir un secteur angulaire de 180 degrés, et une distance au conducteur de l'ordre de cinq mètres. Afin de positionner la source virtuelle VS, le

paramètre P est fourni par le système auxiliaire pour établir un objectif VS_{obj} de position de la source sonore virtuelle VS.

[0071] A titre d'exemple, l'objectif VS_{obj} de position de la source sonore virtuelle peut correspondre sensiblement à la position d'un piéton situé dans l'environnement du véhicule, position fournie par un capteur.

[0072] Le positionnement de la source virtuelle VS est détaillé ci-après.

5 **[0073]** Sur les figures 6A et 6B, l'objectif VS_{obj} de position de la source sonore virtuelle est représenté par un losange.

[0074] Une croix représente une position D d'une tête d'un auditeur, lequel est installé sur le siège conducteur.

10 **[0075]** Lors de l'étape 102 de positionnement de la source virtuelle VS, il est déterminé une projection de l'objectif VS_{obj} de position de la source sonore virtuelle sur la trajectoire T. Pour chaque segment d'extrémités P_i et P_{i+1} de la trajectoire T, il est déterminé, si elle existe, une intersection entre ledit segment et un segment reliant une position de l'auditeur et l'objectif VS_{obj} de position de la source sonore virtuelle. Chaque point d'intersection définit ainsi une source virtuelle VS_i potentielle. Il est ainsi obtenu un ensemble de M points d'intersection définissant M sources virtuelles potentielles.

[0076] Dans le cas illustré sur les figures 6A et 6B, il apparaît un ensemble de quatre sources virtuelles potentielles VS_1 , VS_2 , VS_3 , VS_4 , symbolisées par des carrés.

15 **[0077]** La position de la source virtuelle VS est ensuite déterminée comme étant la source virtuelle potentielle VSk d'indice k présentant la distance minimale à l'objectif VS_{obj} de position de la source sonore virtuelle c'est-à-dire vérifiant :

[Math 7]

$$20 \quad d(VSk; VS_{obj}) = \min_{i \in [1; M]} d(VSi; VS_{obj})$$

[0078] Dans la description, on appelle « projection » de l'objectif VS_{obj} de position de la source sonore virtuelle sur la trajectoire T la source virtuelle VSk ainsi obtenue.

25 **[0079]** L'indice de position $IpVS$ de la source virtuelle VS se définit par la suite de la manière suivante :

[Math 8]

$$30 \quad IpVS = \frac{k - 1 + t_2}{N - 1}$$

$$t_2 = \frac{(D_y - VS_{obj_y})(D_x - A_x) + (VS_{obj_x} - D_x)(D_y - A_y)}{(B_x - A_x)(D_y - VS_{obj_y}) + (D_x - VS_{obj_x})(B_y - A_y)}$$

$$35 \quad A = P_k$$

$$B = P_{k+1}$$

40 où l'indice x fait référence à une abscisse du point associé et l'indice y fait référence à une ordonnée du point associé.

[0080] En référence à la figure 6B, la source virtuelle ainsi déterminée est la source virtuelle VS_2 . Au cas où aucune intersection n'existe entre la trajectoire T et la ligne virtuelle reliant le conducteur D à l'objectif VS_{obj} de position de la source sonore virtuelle VS, il peut être envisagé :

- 45
- de ne pas mettre en œuvre les étapes suivantes 103 et 104, l'objectif VS_{obj} de position de la source sonore virtuelle VS étant considéré en-dehors d'une zone d'intérêt ;
 - de localiser le son en une position par défaut, par exemple devant l'auditeur ;
 - le son est généré en une position angulaire la plus proche, par rapport au conducteur, de celle de l'objectif VS_{obj} de position de la source sonore virtuelle VS ;
- 50
- la trajectoire est artificiellement modifiée pour couvrir une zone d'intérêt plus large, mais comprenant des points communs avec la trajectoire initiale.

[0081] Une fois la source virtuelle VS déterminée, les étapes de détermination de paramètres de traitement numérique 103 et de restitution des signaux par les haut-parleurs 104 sont ensuite appliquées.

55 **[0082]** Bien entendu, la position de la source virtuelle VS est susceptible d'évoluer avec le temps en fonction d'une évolution de l'objectif VS_{obj} de position de la source sonore virtuelle VS, par exemple un déplacement et la seconde étape 102 de positionnement de la source virtuelle VS et les étapes subséquentes sont donc appliquées de manière itérative lors de la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

[0083] Dans un troisième mode de mise en œuvre, l'invention est appliquée à un déplacement prédéfini de la source virtuelle VS le long d'une trajectoire T.

[0084] Dans ce mode de mise en œuvre, le positionnement de la source virtuelle VS au cours de la seconde étape 102, ainsi que les étapes subséquentes de détermination des paramètres de traitement numérique 103 et de restitution des signaux sonores par les haut-parleurs 104, sont appliquées de manière itérative lors de la mise en œuvre du procédé selon l'invention, la position de la source virtuelle VS étant fonction du temps.

[0085] Une position de départ (c'est-à-dire correspondant au début du mouvement) et une position d'arrivée (c'est-à-dire correspondant à la fin du mouvement) de la source virtuelle VS sont deux points quelconques de la trajectoire définis de manière arbitraire, par exemple la position de départ correspond au point P1, et la position d'arrivée au point PN.

[0086] Dans ce mode de mise en œuvre, l'indice de position IpX et une vitesse de déplacement Sp de la source virtuelle VS le long de la trajectoire T sont données par les formules suivantes :

[Math 9]

$$IpX(t) = \frac{t}{t_{total}}$$

$$Sp(t) = \frac{N\sqrt{(P_{l+1} - P_l)^T(P_{l+1} - P_l)}}{t_{total}}$$

$$l = E\left((N - 1)\frac{t}{t_{total}}\right)$$

où :

- t est une variable représentant le temps, comprise entre 0 et t_{total} ;
- t_{total} désigne la durée totale du mouvement ;
- $E(.)$ désigne l'opérateur partie entière.

[0087] Il ressort que la vitesse de déplacement Sp évolue dans le temps comme une fonction en escalier constante entre deux points consécutifs de la trajectoire T, et d'autant plus importante que la distance entre les deux points est importante.

[0088] L'évolution temporelle de l'indice de position est ici considérée comme linéaire par rapport au temps, mais l'homme du métier comprendra que celle-ci peut prendre une forme plus générique :

[Math 10]

$$IpX(t) = f(t)$$

[0089] Où f désigne une fonction a priori quelconque.

[0090] Il convient de noter que si la mise en œuvre de l'invention n'a été décrite plus haut qu'avec une seule trajectoire, plusieurs trajectoires peuvent être définies lors de la première étape 101.

[0091] Le positionnement de la source virtuelle VS est alors envisagé sur l'ensemble des trajectoires définies, en considérant le positionnement sur chacune des trajectoires séparément.

[0092] Par exemple, dans le cas d'une spatialisation sonore en temps réel décrite plus haut dans le deuxième mode de mise en œuvre, la projection de la position de l'objectif VS_{obj} de position

[0093] de la source sonore virtuelle VS est réalisée sur l'ensemble des trajectoires, et la position de la source virtuelle est déterminée en considérant la source virtuelle potentielle la plus proche de l'objectif VS_{obj} de position de la source sonore virtuelle VS, toutes trajectoires confondues.

[0094] L'invention concerne également un dispositif de spatialisation sonore pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

[0095] Le dispositif de spatialisation sonore selon l'invention comprend des moyens pour :

- définir un ensemble de points définissant une trajectoire T ;
- positionner la source virtuelle VS sur la trajectoire T ;

- déterminer des paramètres de traitement numérique à appliquer aux signaux à diffuser par les haut-parleurs ;
- restituer les signaux sonores.

[0096] L'invention permet ainsi de placer avec précision des sources sonores virtuelles dans un environnement d'un auditeur, pour réaliser une spatialisation sonore.

[0097] L'utilisation de trajectoires permet d'appliquer l'invention à des applications diverses, notamment des sons statiques d'aide à la conduite, des alertes venant en complément d'un système d'aide à la conduite automobile, ou des sources sonores se déplaçant le long de trajectoires prédéfinies.

[0098] Il convient de noter que, bien que la trajectoire soit définie dans ce qui est décrit plus haut lors de la première étape 101 de définition d'une trajectoire, elle peut être ajustée tout au long du procédé de manière dynamique si nécessaire, ce qui permet d'utiliser l'invention en temps réel.

[0099] L'invention, décrite ici dans le cadre d'une application 2D, peut être appliquée mutatis mutandis au contexte d'une spatialisation sonore en trois dimensions, les principes et équations mis en œuvre étant similaires à ceux décrits plus haut dans le cadre d'une application en deux dimensions.

[0100] L'homme du métier comprendra que l'invention n'est pas limitée au domaine automobile pour lequel ladite invention a été décrite, mais peut être appliquée de manière plus générale à tout domaine mettant en œuvre une spatialisation sonore, par exemple la musique ou le cinéma.

Revendications

1. Procédé de spatialisation sonore (100) comportant :

- une étape de détermination (103) de paramètres de traitement numérique à appliquer à des signaux sonores à diffuser par un ensemble d'au moins deux haut-parleurs pour reproduire une source sonore virtuelle (VS) en une position souhaitée ;
- une étape de restitution (104) des signaux sonores par les haut-parleurs au cours de laquelle les paramètres de traitement numérique sont appliqués aux signaux sonores ;

ledit procédé de spatialisation sonore (100) étant **caractérisé en ce qu'il** comporte par ailleurs :

- une étape (101) de définition d'une trajectoire (T) définie par un ensemble de N points (P1,...,PN), deux points consécutifs de ladite trajectoire étant reliés entre eux par une courbe ;
- une étape (102) de positionnement au cours de laquelle la position souhaitée de la source sonore virtuelle (VS) est définie sur ladite trajectoire.

2. Procédé de spatialisation sonore (100) selon la revendication 1 **caractérisé en ce que** la trajectoire (T) a une forme de lignée brisée, les courbes reliant les points étant des segments.

3. Procédé de spatialisation sonore (100) selon la revendication 2 **caractérisé en ce que** le positionnement de la source sonore virtuelle (VS) est réalisé en utilisant un indice de position lpX associé de manière unique à un point X quelconque de la trajectoire (T) et défini par :

[Math 11]

$$lpX = \frac{j - 1 + \alpha}{N - 1}$$

où α est un nombre réel compris entre 0 et 1, et j un entier compris entre 1 et N-1.

4. Procédé de spatialisation sonore (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes **caractérisé en ce que** le positionnement de la source sonore virtuelle (VS) le long de la trajectoire (T) est réalisé manuellement par un opérateur.

5. Procédé de spatialisation sonore (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 **caractérisé en ce que** la position de la source sonore virtuelle (VS) est définie au cours de l'étape (102) de positionnement de la manière suivante :

- il est déterminé un ensemble d'images projetées, sur la trajectoire (T), d'un objectif (VS_{obj}) de position de la source sonore virtuelle (VS), en déterminant pour chaque courbe de ladite trajectoire, une intersection, si elle existe, entre ledit segment et une droite passant par un point définissant une position d'un auditeur et l'objectif (VS_{obj}) de position de la source sonore virtuelle (VS), ladite intersection définissant alors une source sonore virtuelle potentielle (VS_i) ;

- si au moins une source sonore virtuelle potentielle (VS_i) existe, la position de la source sonore virtuelle (VS) est définie comme la source sonore virtuelle potentielle (VSk) minimisant une distance à l'objectif (VS_{obj}) de position de la source sonore virtuelle (VS).

6. Procédé de spatialisation sonore (100) selon la revendication 5 **caractérisé en ce que**, en l'absence de source sonore virtuelle potentielle, il est réalisé l'une des actions suivantes :

- la source sonore virtuelle (VS) est positionnée en une position par défaut définie au préalable, par exemple à un mètre devant l'auditeur ;

- la source sonore virtuelle (VS) est positionnée sur la trajectoire (T) en un point présentant une position angulaire la plus proche, par rapport à l'auditeur, de celle de l'objectif (VS_{obj}) de position de la source sonore virtuelle (VS) ;

- la trajectoire (T) est modifiée pour couvrir une zone d'intérêt plus large, mais comprenant des points communs avec la trajectoire initiale.

7. Procédé de spatialisation sonore (100) selon la revendication 3 **caractérisé en ce qu'un** mouvement de la position source sonore virtuelle (VS) est prédéfini, le long de la trajectoire (T), pour une durée totale de mouvement t_{total} , selon la relation :

[Math 12]

$$lpX(t) = \frac{t}{t_{total}}$$

où t est une variable désignant le temps et comprise entre 0 et t_{total} .

8. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé de spatialisation sonore selon l'une quelconque des revendications précédentes, ledit dispositif étant **caractérisé en ce qu'il** comporte :

- des moyens pour définir une trajectoire (T) ;

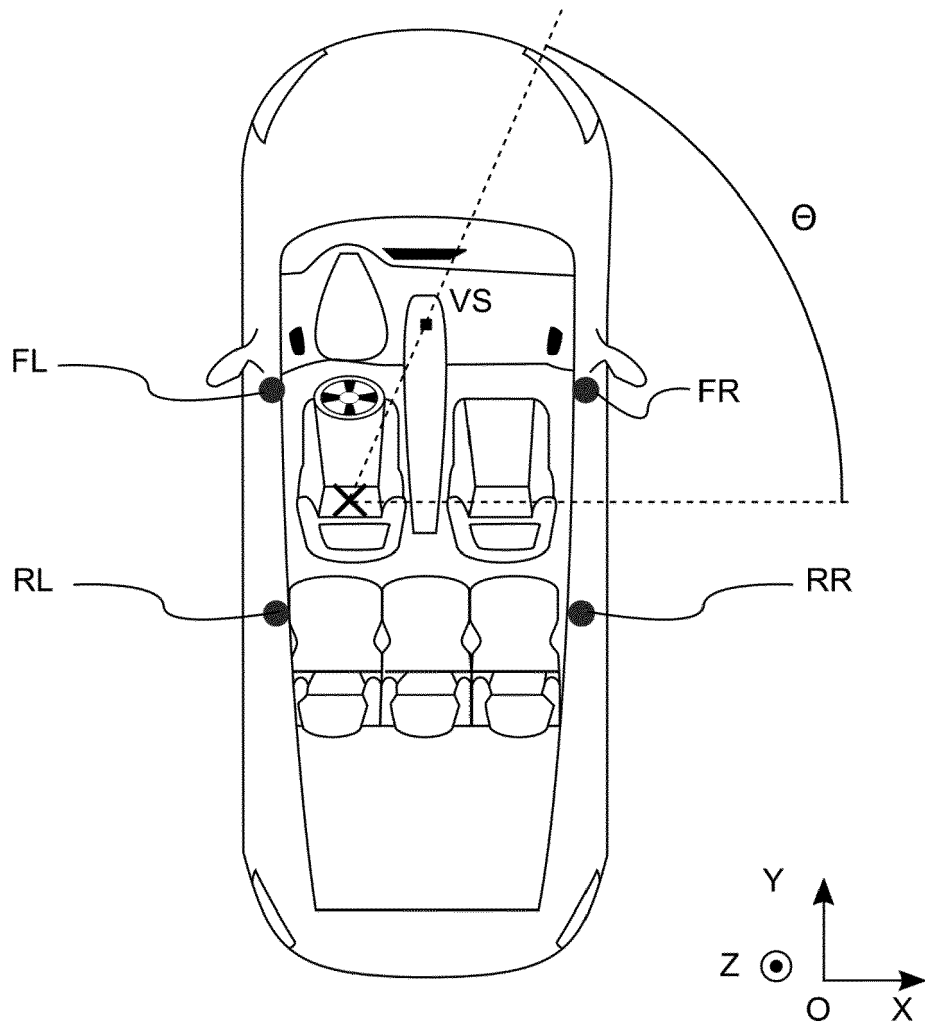
- des moyens pour déterminer une position souhaitée d'une source sonore virtuelle (VS) sur ladite trajectoire ;

- des moyens pour déterminer des paramètres de traitement numérique à appliquer à des signaux sonores à diffuser par un ensemble d'au moins deux haut-parleurs pour produire une source sonore virtuelle (VS) en une position souhaitée ;

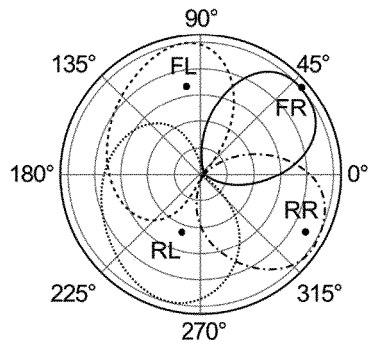
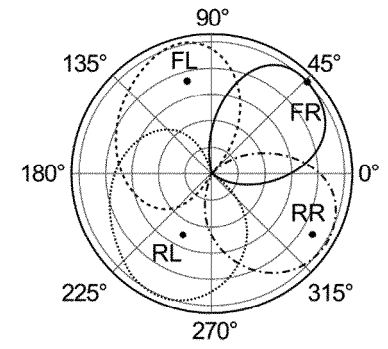
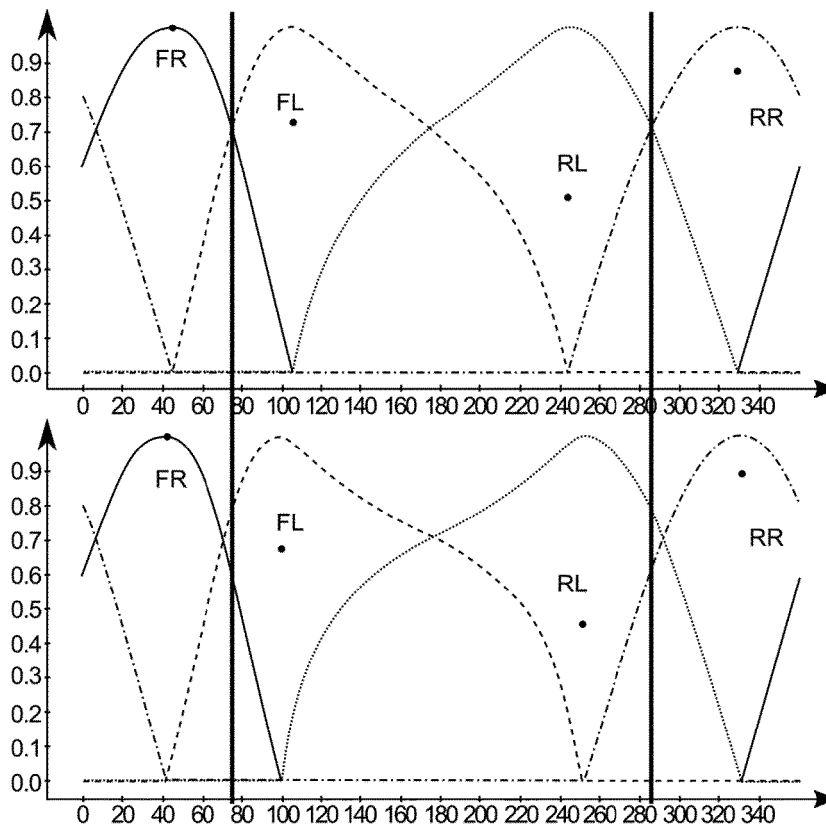
- des moyens pour appliquer les paramètres de traitement numérique aux signaux sonores ;

- des moyens pour restituer les signaux sonores auxquels ont été appliqués les paramètres de traitement numérique.

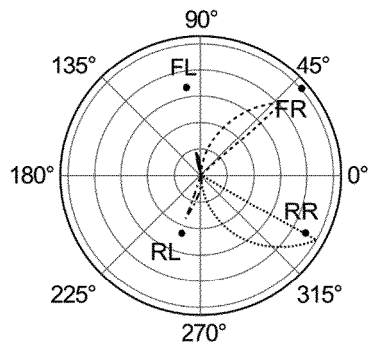
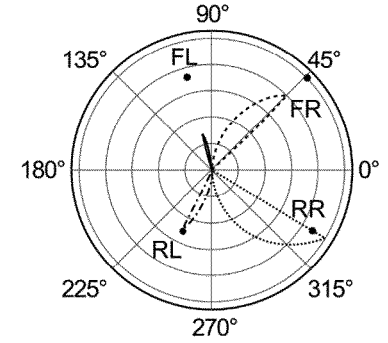
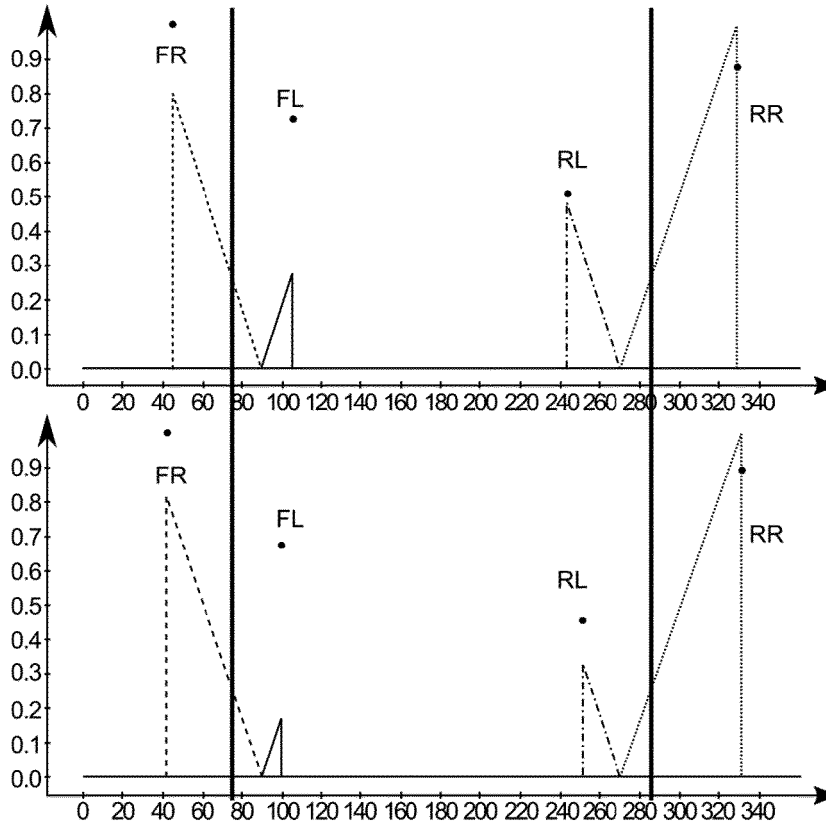
[Fig. 1]



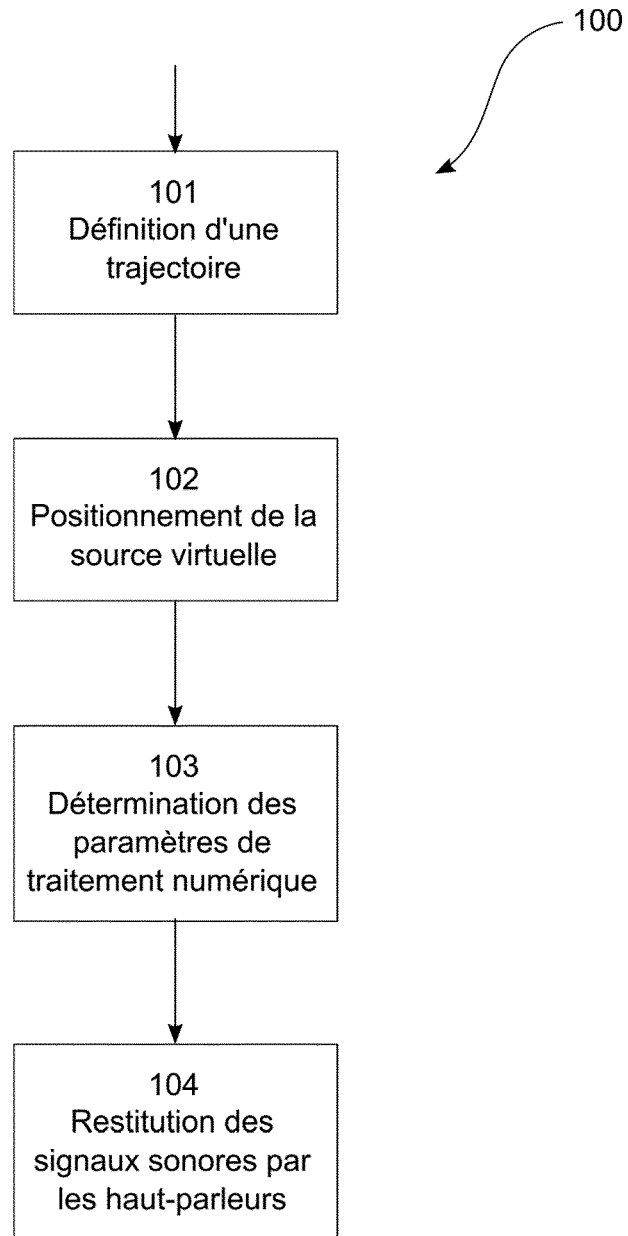
[Fig. 2A]



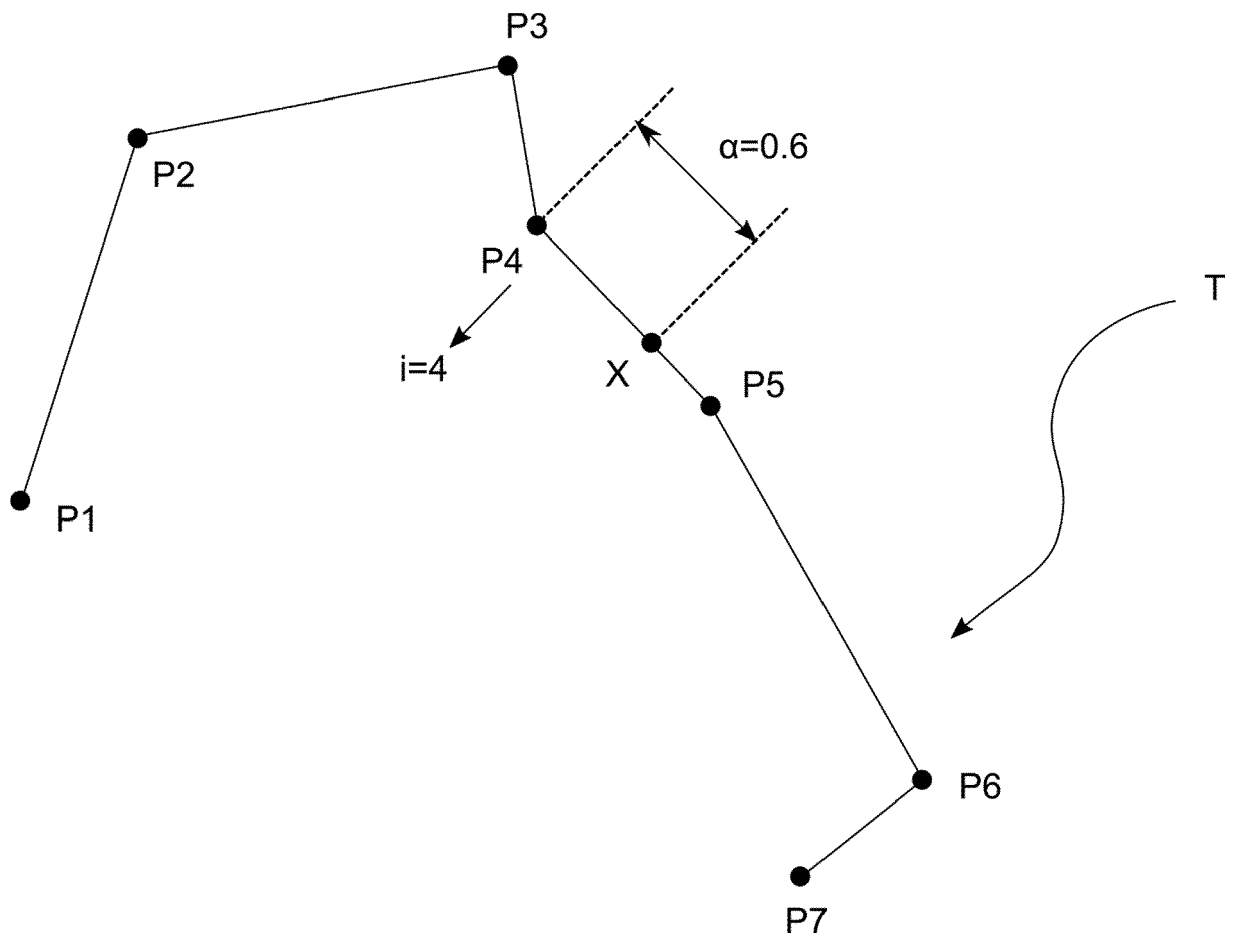
[Fig. 2B]



[Fig. 3]

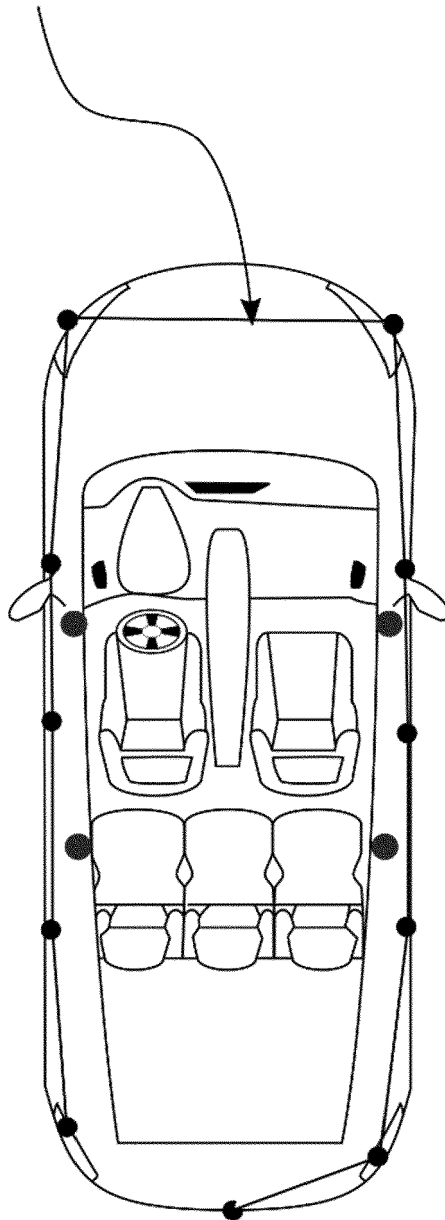


[Fig. 4]



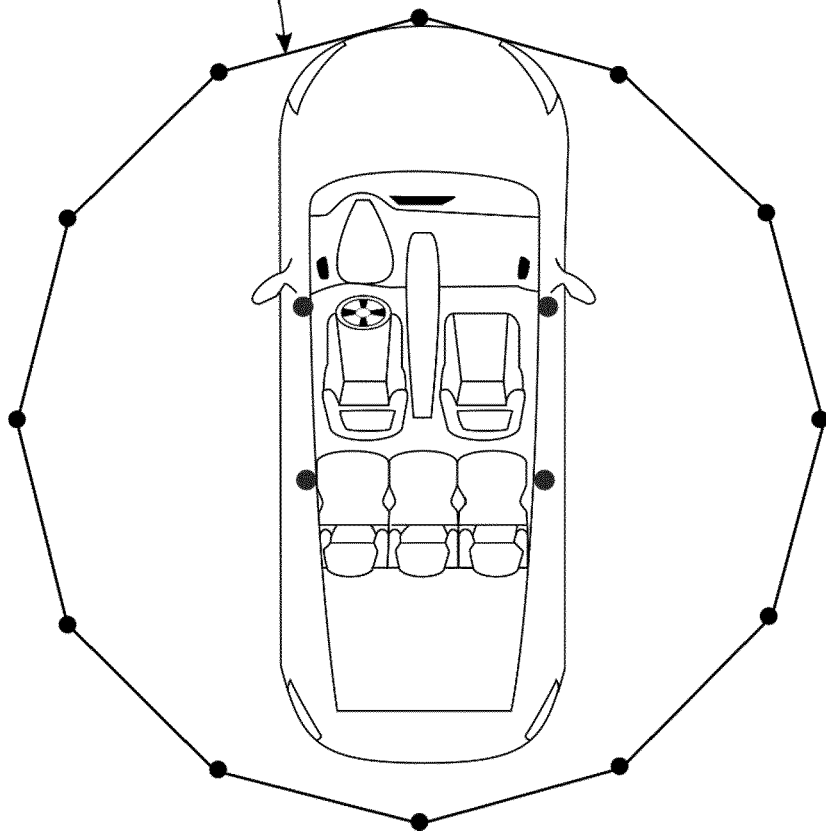
[Fig. 5A]

T

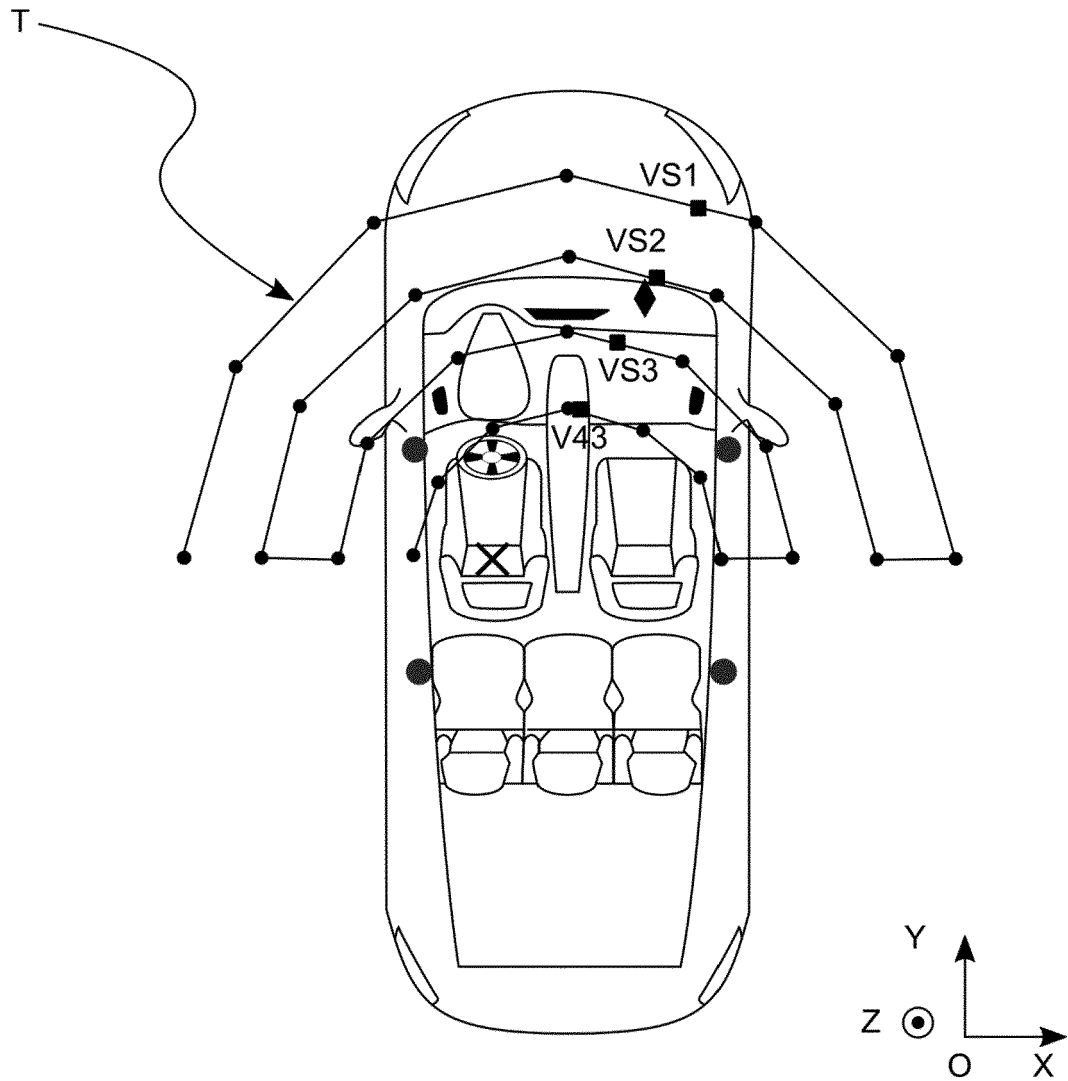


[Fig. 5B]

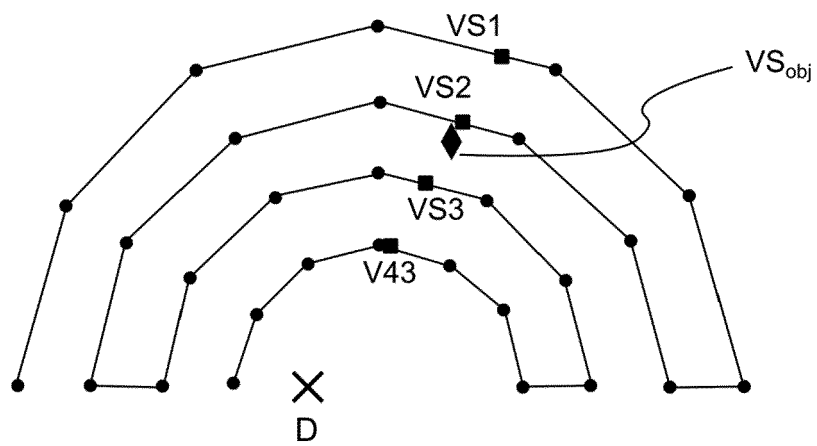
T



[Fig. 6A]



[Fig. 6B]





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 21 19 4020

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	US 2009/316939 A1 (MATSUMOTO YUJI [JP] ET AL) 24 décembre 2009 (2009-12-24) * alinéas [0002], [0024], [0025], [0034], [0040] - [0048], [0063] - [0079], [0099], [0100]; figures 1, 4, 6A-C, 7A-C *	1-8	INV. H04S7/00 ADD. H04R29/00
X	US 9 913 065 B2 (BOSE CORP [US]) 6 mars 2018 (2018-03-06) * le document en entier *	1-6, 8	
A	WO 2008/106680 A2 (MAHABUB JERRY [US]; BERNSEE STEPHAN M [DE]; SMITH GARY [US]) 4 septembre 2008 (2008-09-04) * page 6 - page 7; figures 1-3 *	6	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H04R H04S
1 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 11 janvier 2022	Examineur Carrière, Olivier
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 21 19 4020

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.

11-01-2022

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2009316939 A1	24-12-2009	JP 4557054 B2	06-10-2010
		JP 2010004361 A	07-01-2010
		US 2009316939 A1	24-12-2009
US 9913065 B2	06-03-2018	US 2017013386 A1	12-01-2017
		WO 2017007665 A1	12-01-2017
WO 2008106680 A2	04-09-2008	CN 101960866 A	26-01-2011
		CN 103716748 A	09-04-2014
		EP 2119306 A2	18-11-2009
		JP 5285626 B2	11-09-2013
		JP 2010520671 A	10-06-2010
		JP 2013211906 A	10-10-2013
		US 2009046864 A1	19-02-2009
		WO 2008106680 A2	04-09-2008

EPO FORM P0460

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.

Littérature non-brevet citée dans la description

- Virtual Sound Source Positioning Using Vector Base Amplitude Panning. Laboratory of Acoustics and Audio Signal Processing, Helsinki University of Technology **[0005]**