

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2024/156849 A1

(43) Date de la publication internationale
02 août 2024 (02.08.2024)

(51) Classification internationale des brevets :
H04R 27/00 (2006.01) H04R 3/12 (2006.01)
H04S 7/00 (2006.01) H04R 1/40 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2024/051865

(22) Date de dépôt international :
26 janvier 2024 (26.01.2024)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2300786 27 janvier 2023 (27.01.2023) FR

(71) Déposant : TRINNOV AUDIO [FR/FR] ; 5 rue Edmond
Michelet, 93360 NEUILLY PLAISANCE (FR).

(72) Inventeurs : LABORIE, Arnaud, Serges, Raymond ;
122bis rue Philippe Lebon, 93110 ROSNY SOUS BOIS
(FR). BRUNO, Rémy, Henri, Denis ; 32 rue des Ecoles,
94140 ALFORTVILLE (FR). KOMBO, Stéphane Ri-
chard ; 5 Passage de Lagny, 75020 PARIS (FR).

(74) Mandataire : DOMENEGO, Bertrand et al. ; LAVOIX,
2 place d'Estienne d'Orves, 75441 Paris CEDEX 09 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO,

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING AN ACOUSTIC FIELD, ASSOCIATED CONTROL SYSTEM AND ASSOCIATED COMPUTER PROGRAM

(54) Titre : PROCÉDÉ DE CONTRÔLE D'UN CHAMP ACOUSTIQUE, SYSTÈME DE CONTRÔLE ET PROGRAMME D'ORDINATEUR ASSOCIÉS

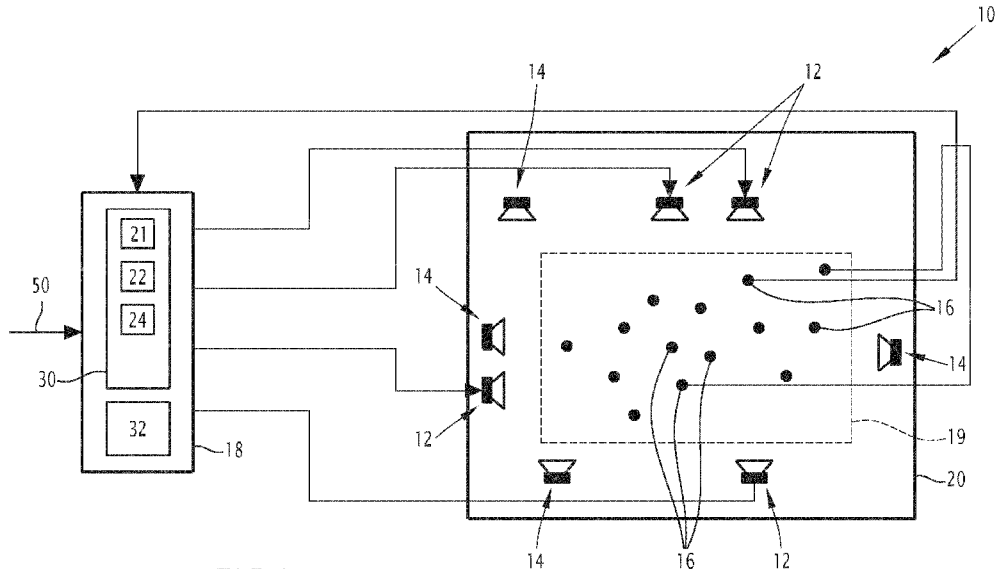


FIG. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling an acoustic field, comprising a calibration phase comprising the steps of: - emitting a sound wave by a set of loudspeakers (12, 14) on the basis of a predetermined signal; - measuring, for the or each loudspeaker (12, 14), respectively, a response of the sound wave by a plurality of sensors (16), so as to obtain initial measurements, each initial measurement being associated with one of the loudspeakers (12, 14) and being further associated with one of the sensors (16); - defining a subset comprising at least one loudspeaker, referred to as at least one emitter loudspeaker (12), from among the set of loudspeakers (12, 14), according to a predetermined criterion; and - determining a set of transform filters for reproducing an audio signal (50) by the set of loudspeakers (12, 14).

[Suite sur la page suivante]



WO 2024/156849 A1

RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,
ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), curasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
 - avec revendications modifiées (art. 19(1))
 - en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.
-

(57) Abrégé : Procédé de contrôle d'un champ acoustique, comprenant une phase de calibrage comprenant des étapes de : - émission d'une onde sonore par un ensemble de haut-parleurs (12, 14) en fonction d'un signal prédéterminé; - mesure, respectivement pour le ou chaque haut-parleur (12, 14), d'une réponse de l'onde sonore par une pluralité de capteurs (16), pour obtenir des mesures initiales, chaque mesure initiale étant associée à l'un du ou des haut-parleur(s) (12, 14) et étant en outre associée à l'un des capteurs (16); - définition d'un sous-ensemble comprenant au moins un haut-parleur, dit au moins un haut-parleur émetteur (12), parmi l'ensemble de haut-parleurs (12, 14), selon un critère prédéterminé; - détermination d'un ensemble de filtres de transformation pour une reproduction d'un signal audio (50) par l'ensemble de haut-parleurs (12, 14).

DESCRIPTION

TITRE : Procédé de contrôle d'un champ acoustique, système de contrôle et programme d'ordinateur associés

La présente invention concerne un procédé de contrôle d'un champ acoustique.

L'invention concerne en outre un système de contrôle d'un champ acoustique. L'invention concerne également un programme d'ordinateur associé.

La présente invention concerne le domaine de contrôle d'un champ acoustique.

Des systèmes de restitution sonore sont connus en soi. Ces systèmes sont par exemple destinés à l'utilisation par des professionnels, tels que des personnes dans des studios de mixage ou à l'utilisation par des particuliers dans le cadre de cinémas à domicile (ou « home-cinemas » en anglais). De tels systèmes sont aussi par exemple utilisés pour contrôler un champ acoustique pour une large audience, comme par exemple dans des salles de cinéma ou des salles de concert. Ces systèmes intègrent par exemple des haut-parleurs capables de reproduire uniquement des fréquences moyennes ou aigues et des haut-parleurs capables de reproduire aussi des basses fréquences et/ou des haut-parleurs dédiés à la restitution des basses fréquences, appelés « subwoofers » ou caissons de basses.

Généralement, la reproduction du champ acoustique se fait dans une zone d'écoute à l'intérieur d'une pièce dont les murs sont à l'origine de nombreuses réflexions et résonnances qui amplifie, atténue ou annule certaines fréquences du champ acoustique dans cette zone d'écoute. De plus, la zone d'écoute peut présenter des obstacles générant d'autres réflexions et résonnances.

Ces modifications du champ acoustique sont différentes en fonction des différentes positions de l'espace. Pour obtenir une expérience auditive satisfaisante pour des utilisateurs positionnés à des endroits différents de la zone d'écoute couverte par le champ acoustique, il convient de contrôler les ondes sonores émises par les haut-parleurs respectifs. En particulier, il convient de contrôler et de modifier les ondes sonores émises, pour obtenir un champ acoustique contrôlé dans chaque point de la zone d'écoute. Par exemple, en l'absence de contrôle, des interférences peuvent perturber l'expérience auditive.

Un tel contrôle dépend d'un très grand nombre de paramètres, tels que par exemple le nombre, la position et l'orientation des haut-parleurs, de la forme de la salle d'écoute et

des matériaux des murs et des positions et types d'obstacles dans la salle, dans laquelle le champ acoustique est reproduit, etc.

Aussi, il est souvent difficile, voire impossible, de mettre en œuvre un contrôle optimisé pour chaque point de la zone d'écoute, compte tenu d'une grande complexité des différents paramètres et facteurs influant sur le contrôle. Ainsi, les solutions connues pour contrôler des champs acoustiques peuvent encore être améliorées.

Un but de l'invention est d'obtenir un procédé de contrôle d'un champ acoustique et un système de contrôle associé, qui permettent d'obtenir une grande qualité d'expérience auditive, notamment à chaque position d'une zone d'écoute. Aussi, un autre but de l'invention est d'obtenir un procédé de contrôle qui est facile à mettre en œuvre.

A cet effet, un objet de l'invention est un procédé de contrôle d'un champ acoustique, comprenant une phase de calibrage comprenant des étapes de :

- émission d'une onde sonore par un ensemble de haut-parleurs en fonction d'un signal prédéterminé ;

- mesure, respectivement pour le ou chaque haut-parleur, d'une réponse de l'onde sonore par une pluralité de capteurs, pour obtenir des mesures initiales, chaque mesure initiale étant associée à l'un du ou des haut-parleur(s) et étant en outre associée à l'un des capteurs ;

- définition d'un sous-ensemble comprenant au moins un haut-parleur, dit au moins un haut-parleur émetteur, parmi l'ensemble de haut-parleurs, selon un critère prédéterminé ;

- traitement, comprenant l'application d'une fonction prédéterminée à chaque mesure initiale associée à l'au moins un haut-parleur émetteur pour obtenir, pour chaque mesure initiale associée à l'au moins un haut-parleur émetteur, une mesure traitée ;

- détermination d'un ensemble de filtres de transformation pour une reproduction d'un signal audio par l'ensemble de haut-parleurs, l'ensemble de filtres de transformation étant déterminé au moins en fonction de chaque mesure initiale et en fonction d'un champ acoustique cible obtenu à partir de chaque mesure traitée.

Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le procédé de contrôle comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- lors de l'étape d'émission, une pluralité de haut-parleurs de l'ensemble de haut-parleurs émet l'onde sonore en fonction dudit signal prédéterminé ;

- les haut-parleurs émettent l'onde sonore consécutivement en fonction dudit signal prédéterminé ;

- le procédé de contrôle comprend en outre une phase de reproduction du signal audio, comprenant des étapes de :
 - + filtrage, comprenant l'application, pour chaque haut-parleur, d'un filtre de transformation de l'ensemble de filtres de transformation au signal audio pour obtenir un signal de contrôle pour chaque haut-parleur, et
 - + reproduction du signal audio par l'ensemble de haut-parleurs en fonction de chaque signal de contrôle correspondant ;
- la fonction prédéterminée modifie une amplitude d'une partie de chaque mesure initiale pour obtenir chaque mesure traitée ;
 - la fonction prédéterminée définit au moins une enveloppe temporelle appliquée à chaque mesure initiale ;
 - l'enveloppe temporelle sélectionne uniquement un début ayant une durée prédéterminée de chaque mesure initiale, des autres parties de chaque mesure initiale étant éliminées, et/ou
 - l'enveloppe temporelle diminue l'amplitude de chaque mesure initiale en fonction du temps, et/ou
 - l'enveloppe temporelle harmonise un decay de la réponse de l'onde sonore selon chaque mesure initiale, et/ou
 - l'enveloppe temporelle augmente l'amplitude de chaque mesure initiale en fonction du temps ;
 - la fonction prédéterminée comprend un filtre fréquentiel modifiant l'amplitude de chaque mesure initiale en fonction d'une fréquence de la mesure initiale ;
 - le filtre fréquentiel est un filtre temps-fréquentiel modifiant l'amplitude de chaque mesure initiale en outre en fonction du temps ;
- la phase de calibrage comprend en outre une étape de combinaison des mesures traitées pour obtenir, pour chaque capteur, une mesure cible définissant ledit champ acoustique cible ;
 - lors de l'étape de détermination, l'ensemble des filtres de transformation est déterminé en minimisant une fonction de coût, des paramètres de la fonction de coût étant au moins chaque mesure initiale et le champ acoustique cible ;
 - la fonction de coût détermine au moins la somme des erreurs au sens des moindres carrés, pour chaque capteur, entre la somme des mesures initiales pour chaque haut-parleur, filtrées par le filtre de transformation correspondant, et la mesure cible ;
 - la fonction de coût comprend au moins l'expression suivante :

$$||H \cdot g - d ||^2$$

où :

g est un vecteur comprenant les filtres de transformation dudit ensemble de filtres de transformation pour chaque haut-parleur ;

H est une matrice de convolution globale comprenant chaque mesure initiale de chaque haut-parleur mesuré par chaque capteur ;

d est un vecteur comprenant chaque mesure cible du champ acoustique cible à une position respective de chaque capteur ;

- l'ensemble des capteurs est agencé de manière à obtenir une mesure non-ambiguë du champ acoustique ;

- chaque capteur est agencé à une distance maximale par rapport à un capteur voisin le plus proche strictement inférieure à la moitié d'une plus petite longueur d'onde du champ acoustique ;

- le sous-ensemble comprend plusieurs haut-parleurs émetteurs, les haut-parleurs émetteurs étant agencés de manière à produire un premier front d'onde dans une zone d'écoute prédéterminée présentant des interférences inférieures à un seuil prédéterminé entre des fronts d'ondes élémentaires émis respectivement par les haut-parleurs émetteurs, pour une bande de fréquences prédéterminée, à chaque instant et à chaque position de la zone d'écoute.

L'invention a également pour objet un programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, mettent en œuvre un procédé de contrôle tel que décrit ci-dessus.

L'invention a aussi pour objet un système de contrôle d'un champ acoustique comprenant un ensemble de haut-parleurs, une pluralité de capteurs et au moins un contrôleur, l'ensemble de haut-parleurs étant configuré pour émettre une onde sonore en fonction d'un signal prédéterminé, la pluralité de capteurs étant configuré pour mesurer, respectivement pour le ou chaque haut-parleur, une réponse de l'onde sonore, pour obtenir des mesures initiales, chaque mesure initiale étant associée à l'un du ou des haut-parleur(s) et étant en outre associée à l'un des capteurs,

le système de contrôle étant en outre configuré pour :

- définir un sous-ensemble comprenant au moins un haut-parleur, dit au moins un haut-parleur émetteur, parmi l'ensemble de haut-parleurs, selon un critère prédéterminé ;

- appliquer une fonction prédéterminée à chaque mesure initiale associée à l'au moins un haut-parleur émetteur pour obtenir, pour chaque mesure initiale associée à l'au moins un haut-parleur émetteur, une mesure traitée ;

- déterminer un ensemble de filtres de transformation pour une reproduction d'un signal audio par l'ensemble de haut-parleurs, l'ensemble de filtres de transformation étant

déterminé au moins en fonction de chaque mesure initiale et en fonction d'un champ acoustique cible obtenu à partir de chaque mesure traitée.

L'invention a aussi pour objet un procédé de contrôle d'un champ acoustique, comprenant une phase de calibrage comprenant des étapes de :

- émission d'une onde sonore par un ensemble de haut-parleurs en fonction d'un signal prédéterminé ;

- mesure, respectivement pour le ou chaque haut-parleur, d'une réponse de l'onde sonore par une pluralité de capteurs, pour obtenir des mesures initiales, chaque mesure initiale étant associée à l'un du ou des haut-parleur(s) et étant en outre associée à l'un des capteurs ;

- définition d'un sous-ensemble des haut-parleurs selon un critère prédéterminé, chaque haut-parleur du sous-ensemble étant appelé haut-parleur émetteur ;

- traitement, comprenant la détermination d'un ensemble de réponses calculées des haut-parleurs émetteurs, chaque réponse calculée correspondant à une réponse acoustique d'un haut-parleur émetteur respectif du sous-ensemble à une position d'un capteur respectif ;

- combinaison des réponses calculées pour obtenir, pour chaque position, une réponse cible, les réponses cibles définissant un champ acoustique cible,

- détermination d'un ensemble de filtres de transformation pour une reproduction d'un signal audio par l'ensemble de haut-parleurs, l'ensemble de filtres de transformation étant déterminé au moins en fonction de chaque mesure initiale et en fonction dudit champ acoustique cible obtenu à partir de chaque réponse calculée.

Ces caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

[Fig 1] la figure 1 est une vue schématique d'un système de contrôle d'un champ acoustique selon l'invention ;

[Fig 2] la figure 2 est un ordinogramme d'un procédé de contrôle mis en œuvre par le système de contrôle de la figure 1 ;

[Fig 3] la figure 3 est un premier exemple d'agencement de haut-parleurs du système de contrôle de la figure 1 ;

[Fig 4] la figure 4 est un second exemple d'agencement de haut-parleurs du système de contrôle de la figure 1 ;

[Fig 5] la figure 5 comprend une vue schématique en perspective d'une partie du système de contrôle de la figure 1, la figure 5 comprenant en outre deux vues selon des plans de la vue schématique en perspective ;

[Fig 6] [Fig 7] [Fig 8] [Fig 9] [Fig 10] [Fig 11] les figures 6 à 11 sont des vues schématiques d'exemples d'agencements de haut-parleurs du système de contrôle de la figure 1 ;

[Fig 12] la figure 12 est un diagramme d'amplitudes, selon des fréquences différentes et des instants différents, d'un signal acoustique à une position donnée d'un champ acoustique, en l'absence d'un filtrage du signal acoustique par des filtres de transformation selon le procédé de contrôle de la figure 2, et

[Fig 13] la figure 13 est un diagramme analogue au diagramme de la figure 12, du signal acoustique filtré par les filtres de transformation selon le procédé de contrôle de la figure 2.

En référence à la figure 1, un système de contrôle 10 d'un champ acoustique comprend un ensemble de haut-parleurs 12, 14, une pluralité de capteurs 16 et au moins un contrôleur 18.

Le système de contrôle 10 est configuré pour contrôler le champ acoustique dans une zone d'écoute 19. La zone d'écoute 19 est notamment située dans une partie d'une salle 20, telle qu'une salle de cinéma, une salle de concert ou une salle de séjour par exemple. Selon un exemple, la zone d'écoute 19 est identique aux dimensions de la salle 20.

L'ensemble de haut-parleurs comprend par exemple au moins un haut-parleur émetteur 12 et au moins un haut-parleur non-émetteur 14. Selon un exemple, les haut-parleurs émetteurs et non-émetteurs 12, 14 présentent les mêmes caractéristiques techniques, et présentent en particulier des fonctions différentes pour la génération du champ acoustique lors d'une opération du système de contrôle 10.

En particulier, chaque haut-parleur 12, 14 de l'ensemble de haut-parleurs est relié au contrôleur 18 par des liaisons câblées ou non-câblées pour un contrôle par ledit contrôleur 18. Pour des raisons de visibilité, uniquement les liaisons entre le contrôleur 18 et les haut-parleurs émetteurs 12 sont illustrées sur la figure 1.

En particulier, les haut-parleurs émetteurs 12 sont agencés et/ou contrôlés de manière à être capable de générer un premier front d'onde présentant une homogénéité spatiale et temporelle prédéterminée dans toute la zone d'écoute 19. De préférence, les haut-parleurs non-émetteurs 14 ne contribuent pas à ce premier front d'onde présentant l'homogénéité spatiale et temporelle prédéterminée dans toute la zone d'écoute 19.

Par « homogénéité spatiale et temporelle prédéterminée », il est en particulier entendu que des interférences entre les haut-parleurs émetteurs 12, pour une bande de fréquences prédéterminée, sont inférieures à un seuil prédéterminé, à chaque instant et à chaque position de la zone d'écoute 19.

Par « premier front d'onde », il est en particulier entendu l'ensemble des positions de l'espace ainsi que les instants auxquels une onde émise par le ou les haut-parleur(s) correspondant(s) s'établit pour la première fois. A un instant donné, le premier front d'onde correspond aux positions de l'espace atteintes pour la première fois par l'onde. A une position donnée de l'espace le premier front d'onde correspond à l'instant auquel l'onde atteint pour la première fois ce point. En particulier, le premier front d'onde est contenu dans la partie initiale, de durée prédéterminée, d'une onde sonore émise par le(s) haut-parleur(s) émetteur(s) 12 correspondant.

L'ensemble des haut-parleurs 12, 14 est configuré pour corriger, par exemple atténuer, une partie des ondes sonores émises par les haut-parleurs émetteurs 12. En particulier, à la fois les haut-parleurs émetteurs 12 et les haut-parleurs non-émetteurs 14 sont configurés pour corriger, par exemple atténuer, une partie des ondes sonores correspondante.

En référence à la figure 1, le système de contrôle 10 comprend de préférence plusieurs haut-parleurs émetteurs 12, tels que par exemple quatre, et plusieurs haut-parleurs non-émetteurs 14, tels que par exemple quatre. Selon un exemple non représenté, le système de contrôle 10 comprend un seul haut-parleur émetteur 12.

Les capteurs 16 sont par exemple des microphones. Chaque capteur 16 définit une position de mesure, de préférence une position de mesure tridimensionnelle. Chaque capteur 16 est configuré pour mesurer des ondes sonores générées par les haut-parleurs 12, 14 à la position de mesure. Les capteurs 16 sont de préférence des microphones omnidirectionnels dont la sensibilité ne dépend pas, ou très peu, d'une direction d'incidence de l'onde sur le microphone.

Le contrôleur 18 est par exemple un calculateur.

Le contrôleur 18 comprend par exemple un module de réception 21, un module de traitement 22 et un module d'émission 24.

Dans l'exemple de la figure 1, le module de réception 21, le module de traitement 22, le module d'émission 24 sont chacun réalisés au moins partiellement sous forme d'un logiciel, ou d'une brique logicielle, par exemple stockés dans une mémoire 30 du contrôleur 18 et exécutables par un processeur 32 du contrôleur 18.

La mémoire 30 du contrôleur 18 est apte à stocker un logiciel de réception, un logiciel de traitement et un logiciel d'émission. Le processeur 32 du contrôleur 18 est apte à exécuter le logiciel de réception, le logiciel de traitement et le logiciel d'émission.

Le fonctionnement du système de contrôle 10 est maintenant décrit en référence à la figure 2 qui est un ordinogramme d'un procédé de contrôle 100 du champ acoustique selon un premier mode de réalisation.

Le procédé de contrôle 100 selon le premier mode de réalisation comprend notamment une phase préliminaire 102, une phase de calibrage 104 et une phase de reproduction 106 d'un signal audio 50 à reproduire.

Lors de la phase préliminaire 102, un nombre et/ou un agencement de l'ensemble de haut-parleurs 12, 14 et/ou des capteurs 16 est déterminé. La phase préliminaire 102 est par exemple mise en œuvre par le contrôleur 18 ou par un calculateur distinct du contrôleur 18.

La phase préliminaire 102 comprend par exemple une première étape de détermination préliminaire 110 et une seconde étape de détermination préliminaire 112.

Lors de la première étape de détermination préliminaire 110, un nombre et un agencement de l'ensemble de haut-parleurs 12, 14 est déterminé, notamment de manière à obtenir le premier front d'onde émis par le ou conjointement par chaque haut-parleur émetteur qui présente l'homogénéité spatiale et temporelle prédéterminée.

Plusieurs exemples d'agencement des haut-parleurs émetteurs lors de la première étape de détermination préliminaire 110 sont décrits dans ce qui suit.

Selon un premier exemple, un seul haut-parleur émetteur 12 est choisi pour le système de contrôle 10 lors de l'étape 110. Dans ce cas, le haut-parleur émetteur 12 émet, lors de l'opération, une onde présentant une forme de propagation sphérique en première approximation. Les autres haut-parleurs sont des haut-parleurs non-émetteurs 14. Tous les haut-parleurs 12, 14 ensemble corrigent par exemple des réflexions et des résonances de l'onde sonore émise par le haut-parleur émetteur 12 dans la zone d'écoute 19 lors d'une opération du système de contrôle 10.

Selon un second exemple, en référence à la figure 3, deux haut-parleurs émetteurs 12 sont choisis pour le système de contrôle 10 lors de l'étape 110.

Dans l'exemple, les haut-parleurs émetteurs 12 sont agencés selon une ligne droite, par exemple parallèlement à un mur de la salle 20.

De préférence, la zone d'écoute 19 correspond dans cet exemple à un secteur, définie à partir d'un point milieu d'un segment reliant les deux haut-parleurs émetteurs 12, dont l'ouverture angulaire est inversement proportionnelle à la distance qui sépare les deux

haut-parleurs émetteurs 12 et/ou est inversement proportionnelle à la fréquence reproduite. Ce secteur définit ainsi la zone d'écoute 19. Dans la zone d'écoute 19 selon cet exemple, le premier front d'onde, désigné par la référence générale FR sur la figure 3, présente une direction de propagation illustrée par des flèches 40.

Par exemple, un front d'ondes émis par les haut-parleurs émetteurs 12 comporte des interférences destructives dont l'atténuation est inférieure ou égale à -3dB tant que des fronts d'ondes élémentaires des haut-parleurs émetteurs 12 se superposent à 0,25 d'une longueur d'onde près avec le front d'onde de son ou ses plus proches voisins.

En particulier, le premier front d'onde est homogène et/ou sensiblement dénué d'interférences. En particulier, par ailleurs, ce premier front d'onde est directionnel et dirigé vers la zone d'écoute 19 alors que le premier front d'onde en direction des murs latéraux est atténué par des interférences destructives produisant ainsi moins de réflexions et résonnances indésirable de salle.

Selon un troisième exemple, en référence à la figure 4, quatre haut-parleurs émetteurs 12 sont choisis pour le système de contrôle 10 lors de l'étape 110, à savoir les haut-parleurs émetteurs 12 agencés à l'intérieur de la salle 20. Comme dans le second exemple, les haut-parleurs émetteurs 12 sont de préférence agencés selon une ligne droite, par exemple parallèlement à un mur de la salle 20.

Par exemple, les haut-parleurs émetteurs 12 sont agencés selon une configuration appelé « Double Bass Array » (de l'anglais signifiant littéralement double réseau de basses). Dans ce cas, par exemple les réflexions des quatre haut-parleurs émetteurs 12 contre les murs latéraux de la salle contribuent au premier front d'onde.

Selon le troisième exemple, les haut-parleurs émetteurs 12 sont couplés de manière à obtenir un premier front d'onde formant sensiblement une onde plane 42, comme illustré en particulier sur la figure 4. L'onde plane est en particulier le cas le plus poussé d'une onde directionnelle.

Dans le cas général de l'invention, les haut-parleurs émetteurs sont placés de préférence de telle sorte que lorsqu'ils sont couplés, ils produisent une onde directionnelle et/ou dans le cas extrême une onde unidirectionnelle ou onde plane.

Bien entendu, en particulier le champ acoustique se développe dans les trois dimensions de l'espace et les haut-parleurs émetteurs 12 disposés dans l'espace pour former un premier front d'onde uniforme dans la zone d'écoute en 3D. Ainsi, les figures 3 et 4 s'interprètent autant comme des vues de dessus que des vues de côté. Cela est illustré sur la figure 5 pour l'exemple de la figure 3.

Par exemple, en référence à la figure 5, le système de contrôle comprend quatre haut-parleurs émetteurs 12 qui sont agencés dans un même plan. Selon un premier plan A, par exemple correspondant à une vue de dessus, deux des quatre haut-parleurs émetteurs 12 sont visibles, les deux autres étant superposés. Selon un second plan B, par exemple correspondant à une vue de côté, également deux des quatre haut-parleurs émetteurs 12 sont visibles. Ainsi, l'agencement illustré par les figures 3 et 4 s'applique à la fois à l'agencement dans le premier plan A et dans le second plan B.

Des exemples d'agencement des haut-parleurs émetteurs 12 du système de contrôle 10 sont illustrés en référence aux figures 6 à 11. Les haut-parleurs émetteurs 12 selon chacun de ces exemples d'agencement sont agencés et/ou contrôlés de manière à être capable de générer le premier front d'onde présentant l'homogénéité spatiale et temporelle prédéterminée dans toute la zone d'écoute 19, en particulier un premier front d'onde uniforme en 3D.

Par exemple, les haut-parleurs émetteurs sont agencés dans un même plan, par exemple dans un plan vertical, visible sur les figures 6 à 11.

Par exemple, en référence à la figure 6, le système de contrôle 10 comprend six haut-parleurs émetteurs 12, dont respectivement trois sont agencés selon une ligne droite, les lignes droites étant parallèles. En référence à la figure 10, le système de contrôle 10 comprend trois haut-parleurs émetteurs 12 agencés selon une ligne droite. En référence à la figure 11, le système de contrôle 10 comprend deux haut-parleurs émetteurs 12 agencés selon une ligne droite. En référence à la figure 7, le système de contrôle 10 comprend trois haut-parleurs émetteurs 12 agencés selon un triangle. En référence à la figure 8, le système de contrôle 10 comprend cinq haut-parleurs émetteurs 12 agencés de manière sensiblement aléatoire en respectant un critère de distance maximale entre des haut-parleurs voisins.

En particulier, la distance maximale entre deux haut-parleurs émetteurs adjacents est telle que les ondes émises par chacun des 2 haut-parleurs adjacents se superposent à 0,25 longueur d'onde près dans le secteur angulaire de la zone d'écoute. Cette distance est par exemple estimée par le calcul approché suivant :

$$d_{adj_max} = 0,25 \lambda_{onde_min} / \sin(\alpha_{écoute}/2)$$

où :

d_{adj_max} est la distance maximale entre deux haut-parleurs émetteurs adjacents 12 ;

λ_{onde_min} est la plus petite longueur d'onde à reproduire ; et

$\alpha_{écoute}$ est le secteur angulaire de la zone d'écoute 19.

Par exemple, pour une zone d'écoute de secteur angulaire 60° et pour une longueur d'onde minimum de 3,44 m, correspondant à une fréquence maximum de 100Hz, la distance maximum entre 2 haut-parleurs est de 1,72m.

En référence à la figure 9, le système de contrôle 10 comprend quatre haut-parleurs émetteurs 12 agencés selon un rectangle.

Lors de la seconde étape de détermination préliminaire 112, un nombre et un agencement des capteurs 16 est déterminé. Par exemple, la position de mesure de chaque capteur 16 est déterminée pour obtenir l'agencement des capteurs 16.

En particulier, l'ensemble des capteurs 16 est agencé de manière à obtenir une mesure non-ambiguë du champ acoustique par les positions de mesure des capteurs 16.

Par « non-ambiguë », il est entendu que les signaux des capteurs 16 représentent, jusqu'à une fréquence maximale prédéterminée, appelée fréquence d'aliasing spatial, au moins l'amplitude du champ acoustique à chaque position de la zone d'écoute 19 et pas uniquement aux seules positions des capteurs 16. Le champ acoustique continu dans l'espace est en particulier correctement représenté par le nombre fini de capteurs, sans perte d'information. En particulier, par exemple, l'ajout d'un capteur 16 additionnel n'ajouterait pas d'informations supplémentaires sur le champ acoustique, telles qu'une valeur de l'amplitude pour une fréquence donnée à un instant donné et pour un point donné dans la zone d'écoute 19, par rapport aux informations déjà comprises dans les signaux des capteurs 16 sans ce capteur additionnel.

Par exemple, les capteurs 16 sont agencés selon un maillage irrégulier en trois dimensions. Par « maillage irrégulier », il est en particulier entendu que chaque distance, dans les trois dimensions, peut différer de chaque autre distance entre les capteurs 16, et/ou en particulier qu'au moins deux capteurs voisins 16 présentent une distance l'un par rapport à l'autre différente par rapport à une distance entre deux autres capteurs voisins 16.

De préférence, la distance choisie entre deux capteurs 16 adjacents est inférieure à la moitié de la longueur d'onde la plus courte à contrôler dans le champ acoustique, de manière à satisfaire les conditions du théorème de Nyquist-Shannon. En d'autres termes, par exemple, l'agencement des capteurs 16 est déterminé en agencant chaque capteur 16 à une distance maximale par rapport à un capteur voisin 16 le plus proche strictement inférieure à la moitié de la plus petite longueur d'onde du champ acoustique.

Par exemple, pour une fréquence maximale de 100 Hz, la distance maximale entre deux capteurs adjacents 16 est de 1,72 mètres.

De préférence, l'arrangement des capteurs 16 est non-coplanaire. Par « non-coplanaire », il est entendu qu'aucun plan, dans un espace tridimensionnel, comprend tous les capteurs 16. Par exemple, au moins un capteur 16 est agencé en-dehors d'un tel plan.

Le nombre de capteurs 16 choisi lors de l'étape 112 dépend notamment de la fréquence maximale du champ acoustique à contrôler et des dimensions tridimensionnelles de la zone d'écoute 19. Par exemple, lorsque la distance choisie entre deux capteurs 16 adjacents est inférieure à la moitié de la longueur d'onde la plus courte à contrôler dans le champ acoustique, les dimensions tridimensionnelles de la zone d'écoute 19 permettent d'obtenir le nombre de capteurs 16.

Selon un exemple, les capteurs 16 sont agencés selon un maillage tétraédrique en 3D ou selon tout autre polyèdre régulier ou encore selon un maillage 3D formé de plusieurs rangées et couches de capteurs agencées en quinconce. De préférence, le maillage est choisi de manière à être irrégulier. Alternativement, un maillage régulier peut être rendu irrégulier en appliquant un déplacement aléatoire à la position de chaque capteur.

Par exemple, les capteurs 16 sont agencés de manière à satisfaire les conditions du théorème de Nyquist-Shannon.

Lors de la phase de calibrage 104, le champ acoustique est calibré notamment en fonction de mesures obtenues des capteurs 16.

De préférence, la phase de calibrage 104 est mise en œuvre au moins une fois avant une mise en œuvre de la phase de reproduction 106.

La phase de calibrage 104 comprend par exemple une étape d'émission 120, une étape de mesure 122, une étape de définition 123, une étape de traitement 124, une étape de combinaison 126 et une étape de détermination 128.

Lors de l'étape d'émission 120, le ou chaque haut-parleur 12, 14 reçoit un signal prédéterminé et émet une onde sonore résultante en fonction du signal prédéterminé.

De préférence, les haut-parleurs 12, 14 reçoivent le signal prédéterminé et émettent l'onde sonore consécutivement. Ainsi, l'un des haut-parleurs 12, 14 émet l'onde sonore, ensuite un autre des haut-parleurs 12, 14 l'émet, etc. de sorte que tous les haut-parleurs 12, 14 du système de contrôle 10 soient mesurés.

Le signal prédéterminé est par exemple un signal d'excitation spectralement dense et/ou déterministe. Par exemple, le signal prédéterminé comprend plusieurs fréquences dans une gamme de fréquences prédéterminée, ou un signal d'excitation dont l'amplitude et/ou la fréquence est modifiée avec le temps.

Par exemple, le signal prédéterminé comprend des fréquences, et de préférence est constituée de fréquences, qui sont inférieures ou égales à un seuil maximal prédéterminé, tel que par exemple 100 Hz ou 200 Hz.

Lors de l'étape de mesure 122, chaque capteur 16 mesure une réponse de l'onde sonore respectivement pour le ou chaque haut-parleur 12, 14, pour obtenir des mesures initiales. Chaque mesure initiale est associée à l'un du ou des haut-parleur(s) 12, 14 et est en outre associée à l'un des capteurs 16. Ainsi, en particulier, chaque mesure initiale correspond à la réponse de l'onde sonore émise par l'un des haut-parleurs 12, 14 seul ou considéré séparément, et mesurée par l'un des capteurs 16.

Lors de l'étape de définition 123, le contrôleur 18 définit un sous-ensemble comprenant au moins un haut-parleur qui est le haut-parleur émetteur 12, parmi l'ensemble de haut-parleurs 12, 14. Le contrôleur 18 définit le ou chaque haut-parleur émetteur 12 selon un critère prédéterminé. Le critère prédéterminé est notamment que le ou les haut-parleur(s) émetteur(s) 12 est/sont capable(s) de générer le premier front d'onde présentant l'homogénéité spatiale et temporelle prédéterminée dans toute la zone d'écoute 19.

Selon un exemple, le sous-ensemble comprenant le ou chaque haut-parleur émetteur 12 forme un paramètre reçu par le contrôleur 18.

De préférence, le critère prédéterminé définit que les haut-parleurs émetteurs 12 sont ceux qui sont agencés de manière à produire le premier front d'onde dans la zone d'écoute 19 présentant des interférences inférieures à un seuil prédéterminé entre des fronts d'ondes élémentaires émis respectivement par les haut-parleurs émetteurs 12, pour une bande de fréquences prédéterminée, à chaque instant et à chaque position de la zone d'écoute 19.

En particulier, les haut-parleurs émetteurs 12 définis selon le critère prédéterminé sont agencés selon les exemples d'agencement des figures 3 à 11.

Lors de l'étape de traitement 124, le contrôleur 18, et en particulier le module de traitement 22, applique une fonction prédéterminée à chaque mesure initiale associée en particulier à chaque haut-parleur émetteur 12 pour obtenir, pour chacune de ces mesures initiales, une mesure traitée. En particulier, le contrôleur 18 applique la même fonction prédéterminée à chaque mesure initiale. Notamment, le contrôleur 18 applique la fonction prédéterminée à chaque mesure initiale qui est associée à un haut-parleur émetteur 12 parmi le ou les haut-parleurs émetteurs 12, pour obtenir une mesure traitée pour chaque mesure initiale qui est associée au haut-parleur émetteur 12 correspondant.

De préférence, la fonction prédéterminée modifie une amplitude d'une partie de chaque mesure initiale pour obtenir chaque mesure traitée.

Selon un exemple, la fonction prédéterminée comprend un filtre fréquentiel modifiant l'amplitude de chaque mesure initiale en fonction d'une fréquence. Par exemple, certaines bandes de fréquences sont atténuées, et d'autres bandes de fréquences sont augmentées par le filtre fréquentiel.

Selon un exemple, le filtre fréquentiel est un filtre temps-fréquentiel modifiant l'amplitude de chaque mesure initiale en outre en fonction du temps.

Par exemple, la fonction prédéterminée définit au moins une enveloppe temporelle appliquée à chaque mesure initiale.

L'enveloppe temporelle sélectionne par exemple uniquement un début ayant une durée prédéterminée de chaque mesure initiale, des autres parties de chaque mesure initiale étant éliminées. Cela correspond en particulier à une troncature de la mesure initiale. Par exemple, uniquement le premier front d'onde du champ acoustique tel que mesuré selon chaque mesure initiale est extrait, et notamment les ondes sonores successives sont éliminées. Cela permet par exemple d'éliminer, ou au de moins réduire, la réponse de la salle 20 contenue dans les mesures initiales et présentes dans la zone d'écoute 19.

Selon un exemple, l'enveloppe temporelle diminue ou augmente l'amplitude de chaque mesure initiale en fonction du temps. Cela permet en particulier de réduire la durée de la réponse de la salle 20, sans l'éliminer totalement, ou permet d'augmenter la durée de cette réponse.

Selon un exemple, l'enveloppe temporelle comporte des valeurs supérieures à 1 pour certains instants, amplifiant ainsi l'amplitude de chaque mesure initiale à cet instant.

Selon un exemple, l'enveloppe temporelle comporte des valeurs supérieures à 1 et croissante en fonction du temps, ce qui permet en particulier d'allonger la réponse de la salle 20, par exemple dans le cas où la réponse serait trop courte ou l'effet de la salle devrait être amplifiée.

Selon un exemple, l'enveloppe temporelle harmonise un decay (du terme anglais « time decay » signifiant littéralement « temps d'amortissement ») de la réponse de l'onde sonore selon la mesure initiale. Le decay dépend en particulier d'une fréquence de la réponse de l'onde sonore selon la mesure initiale. Par exemple, l'enveloppe temporelle selon cet exemple réduit le decay pour certaines fréquences et l'augmente pour d'autres. Selon un autre exemple, l'enveloppe temporelle ajuste le decay pour obtenir un decay qui est uniforme selon la fréquence.

Lors de l'étape de combinaison 126, le contrôleur 18, et en particulier le module de traitement 22, combine les mesures traitées pour obtenir, pour chaque capteur 16, une mesure cible définissant un champ acoustique cible en cette position.

En particulier, le contrôleur 18 combine séparément les mesures traitées de la position de mesure du capteur 16 correspondant, pour obtenir la mesure cible pour cette position de mesure. Par exemple, pour un capteur donné 16, le contrôleur 18 combine la mesure traitée obtenue de la mesure initiale d'un premier des haut-parleurs émetteurs 12 avec la mesure traitée obtenue de la mesure initiale d'un second des haut-parleurs émetteurs 12, et cela pour tous les haut-parleurs émetteurs 12. Ainsi, en particulier, chaque mesure cible est associée à la position de mesure du capteur 16 correspondant, telle que par exemple déterminée lors de l'étape 112.

Lorsque les positions de mesure des capteurs 16 sont agencées de manière à obtenir une mesure non-ambiguë du champ acoustique, les mesures cibles à ces positions représentent ainsi sensiblement le champ acoustique cible dans la zone d'écoute 19.

Selon un exemple, la combinaison des mesures traitées comprend le calcul d'une somme des mesures traitées, pour obtenir chaque mesure cible.

Dans ce cas, par exemple, le champ acoustique cible correspond, notamment lorsque les mesures initiales sont traitées de manière à extraire uniquement le premier front d'onde, par exemple par la troncature, au premier front d'onde uniforme et/ou sans interférence, et/ou dirigé vers la zone d'écoute 19. De préférence, dans ce cas, un front d'onde dirigé en dehors de la zone d'écoute 19, par exemple vers les murs de la salle 20, est atténué par interférences destructives, notamment de sorte que des résonances et des réflexions de la salle 20 soient très peu excitées, voire absentes.

Selon un autre exemple, ou en complément, la combinaison des mesures traitées comprend l'ajout d'un gain et/ou un retard spécifique, par exemple avant l'addition des mesures traitées. Cela permet notamment, d'une part, d'ajuster une largeur et/ou une forme du premier front d'onde et notamment de contrôler la manière dont la salle est excitée, et, d'autre part, permet de compenser un positionnement imprécis des haut-parleurs émetteurs 12.

Selon un autre exemple, ou en complément, la combinaison des mesures traitées comprend l'application d'un filtre modifiant l'amplitude, la phase et/ou le retard de l'onde sonore de la mesure traitée respective. Par exemple, ce filtre modifie séparément l'amplitude, la phase et/ou le retard, et cela pour la mesure traitée de chaque haut-parleur émetteur 12. Ce filtre est par exemple construit par des techniques de beamforming (signifiant littéralement « formation de faisceaux ») notamment permettant d'orienter et/ou de contrôler la largeur du premier front d'onde engendré par l'action combinée des haut-parleurs émetteurs 12.

L'étape de combinaison 126 est une étape optionnelle.

De préférence, l'étape de combinaison 126 est mise en œuvre en présence de plusieurs haut-parleurs émetteurs 12.

Par exemple, l'étape de combinaison 126 est mise en œuvre lorsque le système de contrôle 10 comprend plusieurs haut-parleurs émetteurs 12.

Lors de l'étape de détermination 128, le contrôleur 18 détermine un ensemble de filtres de transformation pour une transformation d'un signal audio 50 par le ou chaque haut-parleur 12, 14, au moins en fonction de chaque mesure initiale et en fonction du champ acoustique cible obtenu à partir de chaque mesure traitée.

Par exemple, le contrôleur 18 détermine les filtres de transformation en minimisant une fonction de coût. Des paramètres de la fonction de coût étant au moins chaque mesure initiale, notamment considérée individuellement pour chaque position de mesure et chaque haut-parleur 12, 14, et le champ acoustique cible pour chaque position de mesure.

Par exemple, la fonction de coût détermine au moins la somme des erreurs au sens des moindres carrés, pour chaque capteur 16, entre la somme des mesures initiales, filtrées par le filtre de transformation correspondant, et la mesure cible.

Par exemple, la fonction de coût est définie comme suit :

$$J(g) = \|H \cdot g - d\|^2,$$

$J(g)$ est la fonction de coût ;

g est un vecteur comprenant les filtres de transformation dudit ensemble de filtres de transformation pour chaque haut-parleur 12, 14 ;

H est une matrice de convolution globale comprenant chaque mesure initiale de chaque haut-parleur 12, 14 mesuré par chaque capteur 16, et

d est un vecteur comprenant chaque mesure cible du champ acoustique cible à une position respective de chaque capteur 16, en particulier à la position de mesure respective.

Par exemple, soit p l'indice d'une des P positions de mesure des capteurs 16, et soit s l'indice d'un des S haut-parleurs 12, 14.

En particulier, le vecteur g est défini comme suit :

$$g = \begin{bmatrix} g_1 \\ \vdots \\ g_s \\ \vdots \\ g_S \end{bmatrix}, \text{ avec } S \text{ étant le nombre de haut-parleurs.}$$

Chaque élément g_s est un vecteur de longueur T_g comportant la réponse impulsionnelle du filtre de transformation associé au haut-parleur s pour chaque instant t de $t=1$ à $t=T_g$:

$$g_s = \begin{bmatrix} g_s(1) \\ \vdots \\ g_s(t) \\ \vdots \\ g_s(T_g) \end{bmatrix}$$

La matrice de convolution globale H est par exemple une matrice de convolution multicanale pour les S haut-parleurs 12, 14 et les P positions de mesure des capteurs 16, par exemple définie par bloc comme suit :

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1s} & \dots & h_{1S} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{p1} & \dots & h_{ps} & \dots & h_{pS} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{P1} & \dots & h_{Ps} & \dots & h_{PS} \end{bmatrix},$$

avec par exemple h_{ps} étant la matrice de convolution associée à la mesure initiale de longueur T_h du capteur à la position p de la réponse de l'onde sonore émise par le haut-parleur s .

La matrice de convolution h_{ps} est par exemple définie comme suit :

$$h_{ps} = \begin{bmatrix} h_{ps}(1) & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & h_{ps}(1) & \ddots & \vdots \\ h_{ps}(T_h) & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & h_{ps}(T_h) & \ddots & h_{ps}(1) \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & h_{ps}(T_h) \end{bmatrix}$$

Par exemple, la matrice de convolution h_{ps} est une matrice de Toeplitz.

Par exemple, lorsque deux haut-parleurs parmi l'ensemble des haut-parleurs sont choisis en tant que haut-parleurs 12, 14, et le système de contrôle 10 comprend deux capteurs 16, la matrice de convolution globale est définie comme suit par blocs :

$$H = [h_{11} \ h_{12}; h_{21} \ h_{22}] \text{ où les « ; » désignent un concaténation verticale.}$$

La réponse cible d du champ acoustique cible est par exemple défini comme suit :

$$d = \begin{bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_p \\ \vdots \\ d_p \end{bmatrix}, \text{ avec } P \text{ étant le nombre de capteurs 16.}$$

Chaque élément d_p est notamment un vecteur de taille T_g comportant la réponse impulsionnelle du champ acoustique cible au point p et pour chaque instant t de $t=1$ à $t=T_g$.

$$d_p = \begin{bmatrix} d_p(1) \\ \vdots \\ d_p(t) \\ \vdots \\ d_p(T_g) \end{bmatrix}$$

Selon un autre exemple, ou en complément, la fonction de coût est définie comme suit :

$$J(g) = \|H \cdot g - d\|^2 + \lambda \cdot \|B \cdot g\|^2,$$

où :

λ est un facteur de pondération, et

B est une matrice de régularisation ou de correction.

Selon des exemples, la matrice de régularisation B est obtenue par des essais ou simulations, ou est prédéterminée.

Selon un autre exemple, ou en complément, la fonction de coût comporte un ensemble de N termes de régularisation $Reg_n(g)$ dépendant chacun au moins de g et avantageusement d'autres paramètres Γ dont éventuellement une ou plusieurs matrice(s) de régularisation:

$$J(g) = \|H \cdot g - d\|^2 + \lambda_1 \cdot Reg_1(g, \Gamma) + \dots + \lambda_N \cdot Reg_N(g, \Gamma)$$

Selon des exemples, le vecteur g est par exemple défini comme suit :

$$g = (H^T H)^{-1} \cdot (H^T d)$$

ou comme suit :

$$g = (H^T H + \lambda \cdot B^T B)^{-1} \cdot (H^T d)$$

ou comme suit :

$$g = F(H, d, \Gamma)$$

avec F étant un opérateur de calcul des filtres prédéterminé et Γ étant un ensemble de paramètres, dont éventuellement un ou plusieurs matrice(s) de régularisation.

La phase de reproduction 106 du signal audio 50 comprend par exemple une étape de filtrage 140 et une étape de reproduction 142.

Lors de l'étape de filtrage 140, le contrôleur 18, et en particulier le module de traitement 22, applique, pour chaque haut-parleur 12, 14, le filtre de transformation associé à ce haut-parleur 12, 14 au signal audio 50 pour obtenir un signal de contrôle pour ce haut-parleur 12, 14.

Lors de l'étape de reproduction 142, l'ensemble de haut-parleurs 12, 14 reproduit le signal audio 50 en fonction de chaque signal de contrôle correspondant.

Lorsque la phase de reproduction 106 comprend la reproduction du signal audio 50 comprenant une gamme de fréquences de basses, par exemple inférieure à 100 Hz, selon un exemple la phase de reproduction 106 comprend une étape de prétraitement, comprenant l'extraction des parties du signal ayant des gammes de fréquence inférieures à 100 Hz. Dans ce cas, par exemple, uniquement ces parties sont appliquées aux filtres de transformation lors de l'étape de filtrage 140.

De préférence, chaque haut-parleur 12, 14, et en particulier chaque haut-parleur émetteur 12, émet des ondes sonores constituées de fréquences inférieures ou égales à un seuil maximal prédéterminé, tel que par exemple 100 Hz ou 200 Hz. Cela concerne de préférence chaque phase 102, 104, 106 du procédé 100. En particulier, chaque haut-parleur 12, 14 est configuré pour émettre uniquement des ondes sonores de fréquences inférieures au seuil maximal.

Un second mode de réalisation du procédé de contrôle 100 est décrit dans ce qui suit. Le procédé de contrôle 100 selon le second mode de réalisation comprend au moins une partie des caractéristiques du premier mode de réalisation, à l'exception des différences décrites ci-après.

La phase de calibrage 104 du procédé de contrôle 100 selon le second mode de réalisation comprend par exemple l'étape d'émission 120, l'étape de mesure 122, l'étape de définition 123, l'étape de traitement 124, l'étape de combinaison 126 et l'étape de détermination 128.

Selon un exemple, l'étape de définition 123 comprend la définition du sous-ensemble comprenant plusieurs haut-parleurs émetteurs 12 parmi l'ensemble de haut-parleurs 12, 14, selon le critère prédéterminé.

L'étape de traitement 124 selon le second mode de réalisation comprend par exemple la détermination d'un ensemble de réponses calculées des haut-parleurs émetteurs 12.

Chaque réponse calculée correspond en particulier à une réponse acoustique d'un haut-parleur émetteur 12 respectif du sous-ensemble à une position d'un capteur respectif 16, notamment à la position appelée position de mesure dans le premier mode de réalisation. Chaque réponse calculée forme en particulier une réponse synthétique.

Par exemple, chaque réponse calculée correspond à une impulsion positionnée sur le premier front d'onde émis par le haut-parleur émetteur correspondant 12. L'impulsion de chaque réponse calculée dépend en particulier d'un temps de propagation entre la position du haut-parleur émetteur 12 correspondant et la position de mesure. En particulier, l'ensemble des réponses calculées représente un front d'onde idéalisé d'une source omnidirectionnelle.

Lors de l'étape de combinaison 126, le contrôleur 18 combine des réponses calculées pour obtenir, pour chaque capteur 16, et en particulier pour chaque position de mesure, une réponse cible définissant un champ acoustique cible en cette position. Par exemple, le contrôleur 18 combine les réponses calculées de manière identique que la combinaison des mesures traitées selon le premier mode de réalisation. Dans ce cas, le

contrôleur 18 obtient en particulier les réponses cibles au lieu des mesures cibles définies dans le premier mode de réalisation.

Par exemple, la combinaison des réponses calculées comprend le calcul d'une somme des réponses calculées, respectivement à chaque position de mesure, pour obtenir chaque réponse cible à cette position.

Lors de l'étape de détermination 128, le contrôleur 18 détermine l'ensemble de filtres de transformation pour la reproduction du signal audio 50 par l'ensemble de haut-parleurs 12, 14. Selon le second mode de réalisation, l'ensemble de filtres de transformation est déterminé au moins en fonction de chaque mesure initiale et en fonction du champ acoustique cible obtenu à partir de chaque réponse calculée. En particulier, dans ce cas le champ acoustique cible est défini par les réponses cible.

En particulier, le procédé de contrôle 100 selon le second mode de réalisation comprend la détermination de la réponse calculée au lieu de la mesure traitée selon le premier mode de réalisation. Le procédé de contrôle 100 selon le second mode de réalisation comprend par exemple la détermination de la réponse cible au lieu de mesure cible.

En particulier, le procédé de contrôle 100 selon le second mode de réalisation comprend certaines ou l'ensemble des caractéristiques du procédé selon le premier mode de réalisation, en remplaçant la mesure cible par la réponse cible.

Selon un exemple, le procédé de contrôle 100 selon le second mode de réalisation comprend l'application d'une fonction prédéterminée pour obtenir la réponse calculée.

La phase préliminaire 102 et/ou la phase de reproduction 106 selon le second mode de réalisation sont de préférence identiques au premier mode de réalisation, notamment en appliquant les différences précitées du second mode de réalisation.

Les figures 12 et 13 sont des diagrammes comprenant des amplitudes A en dB selon des fréquences F différentes en Hz, d'un signal acoustique à une position donnée d'un champ acoustique, illustrés sur le temps t en ms. La figure 13 représente l'amplitude après l'application des filtres de transformation, et la figure 12 représente l'amplitude sans l'application des filtres de transformation. On conçoit que l'amplitude A est atténuée dans le cas de l'application des filtres de transformation à partir de $t=100$ ms, correspondant ainsi à un exemple de troncature de l'onde sonore, permettant notamment de réduire ou éliminer des réflexions et des résonances de l'onde sonore. Dans le cas de l'application des filtres de transformation, la durée du decay de la salle d'écoute est fortement réduit. En particulier, grâce au procédé de contrôle, l'atténuation de l'amplitude A et donc la réduction du decay est obtenu à chaque position de la zone d'écoute 19.

On conçoit que le procédé de contrôle 100 et le système de contrôle 10 présentent un grand nombre d'avantages.

Le fait d'utiliser des mesures initiales et les traiter, et éventuellement les combiner, et/ou le fait de déterminer l'ensemble de réponses calculées et les combiner, pour obtenir les filtres de transformation, permet d'obtenir une grande qualité d'expérience auditive, notamment dans toute la zone d'écoute 19. Selon des exemples préférés, cela est également valide en dehors des seules positions de mesure des capteurs 16 grâce à la représentation non ambiguë du champ acoustique. Aussi, grâce aux mesures, le procédé permet de facilement adapter un contrôle des haut-parleurs 12, 14 à une zone d'écoute 19 respective.

En particulier, le procédé de contrôle 100 est très robuste à des potentiels bruits de mesure. En effet, des mesures en basse fréquence, telles que par exemple égales ou inférieures à 100 Hz, sont très bruitées, mais comme le même bruit se retrouve dans le champ acoustique cible par construction, le bruit ne se répercute pas directement dans les filtres de transformation. Cela évite notamment de recourir à de forts niveaux de régularisation, du moins dans la bande passante utile, et ainsi faciliter le procédé.

Aussi, selon des exemples, le procédé de contrôle 100 ne nécessite pas la détermination de délais de propagation ce qui est particulièrement imprécis dans les basses fréquences ce qui compromet grandement la performance dans le cas d'une réponse idéalisée.

Par ailleurs, l'étape de combinaison 126 permet d'obtenir un champ acoustique cible facilement atteignable puisqu'il correspond à une combinaison de mesures ou de réponses issues des haut-parleurs émetteurs 12. C'est donc par construction un résultat que peuvent atteindre au moins les haut-parleurs émetteurs 12. Lors de l'étape de détermination 128, les filtres de transformation sont donc calculés pour une cible proche des mesures initiales et les filtres qui minimisent la fonction de coût sont en conséquence des filtres simples. Ces filtres sont notamment très simples dans leur partie initiale et dénués d'artéfacts audibles tels que des amplifications importantes et des durées de réponse longues. La qualité sonore du résultat est grandement améliorée. En particulier, l'étape de combinaison 126 permet de ne pas utiliser une réponse globale définissant le champ acoustique cible qui serait plus éloignée des mesures initiales et produirait une erreur plus importante au sens de la fonction de coût et produirait des filtres plus complexes. En particulier, la combinaison de réponses des haut-parleurs émetteurs 12 s'applique aussi bien sur des mesures initiales filtrées, à savoir les mesures traitées, que sur des réponses synthétiques, à savoir les réponses calculées, pour chaque haut-parleur émetteur 12.

Le procédé de contrôle 100 permet en particulier, sur l'ensemble d'une gamme prédéterminée de fréquences, telle qu'entre 20 Hz et 100 Hz, d'obtenir une variation de l'amplitude très faible du champ acoustique obtenu lors de la reproduction du signal acoustique 50 par rapport à une reproduction du signal acoustique 50 sans l'application des filtres de transformation. En particulier, l'application des filtres de transformation obtenus lors de la phase de calibrage 104 permet de réduire la variation de l'amplitude de l'onde sonore en chaque position de la zone d'écoute 19.

Le procédé de contrôle 100 permet en particulier, sur l'ensemble d'une gamme prédéterminée de fréquences, telle qu'entre 20 Hz et 100 Hz, d'obtenir une atténuation des réflexions et résonnances et notamment une durée de decay réduite lors de la reproduction du signal acoustique 50 par rapport à une reproduction du signal acoustique 50 sans l'application des filtres de transformation. En particulier, l'application des filtres de transformation obtenus lors de la phase de calibrage 104 permet de réduire la variation de la durée du decay de la salle d'écoute en chaque position de la zone d'écoute 19.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de contrôle (100) d'un champ acoustique, comprenant une phase de calibrage (104) comprenant des étapes de :

- émission (120) d'une onde sonore par un ensemble de haut-parleurs (12, 14) en fonction d'un signal prédéterminé ;

- mesure (122), respectivement pour le ou chaque haut-parleur (12, 14), d'une réponse de l'onde sonore par une pluralité de capteurs (16), pour obtenir des mesures initiales, chaque mesure initiale étant associée à l'un du ou des haut-parleur(s) (12, 14) et étant en outre associée à l'un des capteurs (16) ;

- définition (123) d'un sous-ensemble comprenant au moins un haut-parleur, dit au moins un haut-parleur émetteur (12), parmi l'ensemble de haut-parleurs (12, 14), selon un critère prédéterminé ;

- traitement (124), comprenant l'application d'une fonction prédéterminée à chaque mesure initiale associée à l'au moins un haut-parleur émetteur (12) pour obtenir, pour chaque mesure initiale associée à l'au moins un haut-parleur émetteur (12), une mesure traitée ;

- détermination (128) d'un ensemble de filtres de transformation pour une reproduction d'un signal audio (50) par l'ensemble de haut-parleurs (12, 14), l'ensemble de filtres de transformation étant déterminé au moins en fonction de chaque mesure initiale et en fonction d'un champ acoustique cible obtenu à partir de chaque mesure traitée.

2. Procédé de contrôle (100) selon la revendication 1, dans lequel, lors de l'étape d'émission (120), une pluralité de haut-parleurs (12, 14) de l'ensemble de haut-parleurs émet l'onde sonore en fonction dudit signal prédéterminé, de préférence les haut-parleurs (12, 14) émettant l'onde sonore consécutivement en fonction dudit signal prédéterminé.

3. Procédé de contrôle (100) selon la revendication 1 ou la revendication 2, comprenant en outre une phase de reproduction (106) du signal audio (50), comprenant des étapes de :

- filtrage (140), comprenant l'application, pour chaque haut-parleur (12, 14), d'un filtre de transformation de l'ensemble de filtres de transformation au signal audio (50) pour obtenir un signal de contrôle pour chaque haut-parleur (12, 14), et

- reproduction (142) du signal audio (50) par l'ensemble de haut-parleurs (12, 14) en fonction de chaque signal de contrôle correspondant.

4. Procédé de contrôle (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fonction prédéterminée modifie une amplitude d'une partie de chaque mesure initiale pour obtenir chaque mesure traitée.

5. Procédé de contrôle (100) selon la revendication 4, dans lequel la fonction prédéterminée définit au moins une enveloppe temporelle appliquée à chaque mesure initiale,

l'enveloppe temporelle sélectionnant uniquement un début ayant une durée prédéterminée de chaque mesure initiale, des autres parties de chaque mesure initiale étant éliminées, et/ou

l'enveloppe temporelle diminue l'amplitude de chaque mesure initiale en fonction du temps, et/ou

l'enveloppe temporelle harmonise un temps d'amortissement de la réponse de l'onde sonore selon chaque mesure initiale, et/ou

l'enveloppe temporelle augmente l'amplitude de chaque mesure initiale en fonction du temps.

6. Procédé de contrôle (100) selon la revendication 4 ou la revendication 5, dans lequel la fonction prédéterminée comprend un filtre fréquentiel modifiant l'amplitude de chaque mesure initiale en fonction d'une fréquence de la mesure initiale,

de préférence, le filtre fréquentiel étant un filtre temps-fréquentiel modifiant l'amplitude de chaque mesure initiale en outre en fonction du temps.

7. Procédé de contrôle (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la phase de calibrage (104) comprend en outre une étape de combinaison (126) des mesures traitées pour obtenir, pour chaque capteur (16), une mesure cible définissant ledit champ acoustique cible.

8. Procédé de contrôle (100) selon la revendication 7, dans lequel, lors de l'étape de détermination (128), l'ensemble des filtres de transformation est déterminé en minimisant une fonction de coût, des paramètres de la fonction de coût étant au moins chaque mesure initiale et le champ acoustique cible.

9. Procédé de contrôle (100) selon la revendication 8, dans lequel la fonction de coût détermine au moins la somme des erreurs au sens des moindres carrés, pour chaque capteur (16), entre la somme des mesures initiales pour chaque haut-parleur, filtrées par le filtre de transformation correspondant, et la mesure cible,

de préférence la fonction de coût comprend au moins l'expression suivante :

$$\|H \cdot g - d\|^2$$

où :

g est un vecteur comprenant les filtres de transformation dudit ensemble de filtres de transformation pour chaque haut-parleur (12, 14) ;

H est une matrice de convolution globale comprenant chaque mesure initiale de chaque haut-parleur (12, 14) mesuré par chaque capteur (16) ;

d est un vecteur comprenant chaque mesure cible du champ acoustique cible à une position respective de chaque capteur (16).

10. Procédé de contrôle (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'ensemble des capteurs (16) est agencé de manière à obtenir une mesure non-ambiguë du champ acoustique,

de préférence chaque capteur (16) étant agencé à une distance maximale par rapport à un capteur voisin (16) le plus proche strictement inférieure à la moitié d'une plus petite longueur d'onde du champ acoustique.

11. Procédé de contrôle (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le sous-ensemble comprend plusieurs haut-parleurs émetteurs (12), les haut-parleurs émetteurs (12) étant agencés de manière à produire un premier front d'onde dans une zone d'écoute prédéterminée (19) présentant des interférences inférieures à un seuil prédéterminé entre des fronts d'ondes élémentaires émis respectivement par les haut-parleurs émetteurs (12), pour une bande de fréquences prédéterminée, à chaque instant et à chaque position de la zone d'écoute (19).

12. Programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur relié à un ensemble de haut-parleurs et une pluralité de capteurs, mettent en œuvre un procédé de contrôle (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes.

13. Système de contrôle (10) d'un champ acoustique comprenant un ensemble de haut-parleurs (12, 14), une pluralité de capteurs (16) et au moins un contrôleur (18), l'ensemble de haut-parleurs (12, 14) étant configuré pour émettre une onde sonore en fonction d'un signal prédéterminé, la pluralité de capteurs (16) étant configuré pour mesurer, respectivement pour le ou chaque haut-parleur (12, 14), une réponse de l'onde sonore, pour obtenir des mesures initiales, chaque mesure initiale étant associée à l'un du ou des haut-parleur(s) (12, 14) et étant en outre associé à l'un des capteurs (16),

le système de contrôle (10) étant en outre configuré pour :

- définir un sous-ensemble comprenant au moins un haut-parleur, dit au moins un haut-parleur émetteur (12), parmi l'ensemble de haut-parleurs (12, 14), selon un critère prédéterminé ;

- appliquer une fonction prédéterminée à chaque mesure initiale associée à l'au moins un haut-parleur émetteur (12) pour obtenir, pour chaque mesure initiale associée à l'au moins un haut-parleur émetteur (12), une mesure traitée ;

- déterminer un ensemble de filtres de transformation pour une reproduction d'un signal audio (50) par l'ensemble de haut-parleurs (12, 14), l'ensemble de filtres de transformation étant déterminé au moins en fonction de chaque mesure initiale et en fonction d'un champ acoustique cible obtenu à partir de chaque mesure traitée.

14. Procédé de contrôle (100) d'un champ acoustique, comprenant une phase de calibrage (104) comprenant des étapes de :

- émission (120) d'une onde sonore par un ensemble de haut-parleurs (12, 14) en fonction d'un signal prédéterminé ;

- mesure (122), respectivement pour le ou chaque haut-parleur (12, 14), d'une réponse de l'onde sonore par une pluralité de capteurs (16), pour obtenir des mesures initiales, chaque mesure initiale étant associée à l'un du ou des haut-parleur(s) (12, 14) et étant en outre associé à l'un des capteurs (16) ;

- définition (123) d'un sous-ensemble des haut-parleurs (12, 14) selon un critère prédéterminé, chaque haut-parleur du sous-ensemble étant appelé haut-parleur émetteur (12) ;

- traitement (124), comprenant la détermination d'un ensemble de réponses calculées des haut-parleurs émetteurs (12), chaque réponse calculée correspondant à une réponse acoustique d'un haut-parleur émetteur (12) respectif du sous-ensemble à une position d'un capteur respectif (16) ;

- combinaison (126) des réponses calculées pour obtenir, pour chaque position, une réponse cible, les réponses cibles définissant un champ acoustique cible,
- détermination (128) d'un ensemble de filtres de transformation pour une reproduction d'un signal audio (50) par l'ensemble de haut-parleurs (12, 14), l'ensemble de filtres de transformation étant déterminé au moins en fonction de chaque mesure initiale et en fonction dudit champ acoustique cible obtenu à partir de chaque réponse calculée.

REVENDEICATIONS MODIFIÉES
reçues par le Bureau international le 18 juin 2024 (18.06.2024)

1. Procédé de contrôle (100) d'un champ acoustique, comprenant une phase de calibrage (104) comprenant des étapes de :

- émission (120) d'une onde sonore par un ensemble de haut-parleurs (12, 14) en fonction d'un signal prédéterminé ;

- mesure (122), respectivement pour le ou chaque haut-parleur (12, 14), d'une réponse de l'onde sonore par une pluralité de capteurs (16), pour obtenir des mesures initiales, chaque mesure initiale étant associée à l'un du ou des haut-parleur(s) (12, 14) et étant en outre associée à l'un des capteurs (16) ;

- définition (123) d'un sous-ensemble comprenant au moins un haut-parleur, dit au moins un haut-parleur émetteur (12), parmi l'ensemble de haut-parleurs (12, 14), selon un critère prédéterminé ;

- traitement (124), comprenant l'application d'une fonction prédéterminée à chaque mesure initiale associée à l'au moins un haut-parleur émetteur (12) pour obtenir, pour chaque mesure initiale associée à l'au moins un haut-parleur émetteur (12), une mesure traitée ;

- détermination (128) d'un ensemble de filtres de transformation pour une reproduction d'un signal audio (50) par l'ensemble de haut-parleurs (12, 14), l'ensemble de filtres de transformation étant déterminé au moins en fonction de chaque mesure initiale et en fonction d'un champ acoustique cible obtenu à partir de chaque mesure traitée.

2. Procédé de contrôle (100) selon la revendication 1, dans lequel, lors de l'étape d'émission (120), une pluralité de haut-parleurs (12, 14) de l'ensemble de haut-parleurs émet l'onde sonore en fonction dudit signal prédéterminé, de préférence les haut-parleurs (12, 14) émettant l'onde sonore consécutivement en fonction dudit signal prédéterminé.

3. Procédé de contrôle (100) selon la revendication 1 ou la revendication 2, comprenant en outre une phase de reproduction (106) du signal audio (50), comprenant des étapes de :

- filtrage (140), comprenant l'application, pour chaque haut-parleur (12, 14), d'un filtre de transformation de l'ensemble de filtres de transformation au signal audio (50) pour obtenir un signal de contrôle pour chaque haut-parleur (12, 14), et

- reproduction (142) du signal audio (50) par l'ensemble de haut-parleurs (12, 14) en fonction de chaque signal de contrôle correspondant.

4. Procédé de contrôle (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fonction prédéterminée modifie une amplitude d'une partie de chaque mesure initiale pour obtenir chaque mesure traitée.

5. Procédé de contrôle (100) selon la revendication 4, dans lequel la fonction prédéterminée définit au moins une enveloppe temporelle appliquée à chaque mesure initiale,

l'enveloppe temporelle sélectionnant uniquement un début ayant une durée prédéterminée de chaque mesure initiale, des autres parties de chaque mesure initiale étant éliminées, et/ou

l'enveloppe temporelle diminue l'amplitude de chaque mesure initiale en fonction du temps, et/ou

l'enveloppe temporelle harmonise un temps d'amortissement de la réponse de l'onde sonore selon chaque mesure initiale, et/ou

l'enveloppe temporelle augmente l'amplitude de chaque mesure initiale en fonction du temps.

6. Procédé de contrôle (100) selon la revendication 4 ou la revendication 5, dans lequel la fonction prédéterminée comprend un filtre fréquentiel modifiant l'amplitude de chaque mesure initiale en fonction d'une fréquence de la mesure initiale,

de préférence, le filtre fréquentiel étant un filtre temps-fréquentiel modifiant l'amplitude de chaque mesure initiale en outre en fonction du temps.

7. Procédé de contrôle (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la phase de calibrage (104) comprend en outre une étape de combinaison (126) des mesures traitées pour obtenir, pour chaque capteur (16), une mesure cible définissant ledit champ acoustique cible.

8. Procédé de contrôle (100) selon la revendication 7, dans lequel, lors de l'étape de détermination (128), l'ensemble des filtres de transformation est déterminé en minimisant une fonction de coût, des paramètres de la fonction de coût étant au moins chaque mesure initiale et le champ acoustique cible.

9. Procédé de contrôle (100) selon la revendication 8, dans lequel la fonction de coût détermine au moins la somme des erreurs au sens des moindres carrés, pour chaque capteur (16), entre la somme des mesures initiales pour chaque haut-parleur, filtrées par le filtre de transformation correspondant, et la mesure cible,

de préférence la fonction de coût comprend au moins l'expression suivante :

$$\|H \cdot g - d\|^2$$

où :

g est un vecteur comprenant les filtres de transformation dudit ensemble de filtres de transformation pour chaque haut-parleur (12, 14) ;

H est une matrice de convolution globale comprenant chaque mesure initiale de chaque haut-parleur (12, 14) mesuré par chaque capteur (16) ;

d est un vecteur comprenant chaque mesure cible du champ acoustique cible à une position respective de chaque capteur (16).

10. Procédé de contrôle (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'ensemble des capteurs (16) est agencé de manière à obtenir une mesure non-ambiguë du champ acoustique,

de préférence chaque capteur (16) étant agencé à une distance maximale par rapport à un capteur voisin (16) le plus proche strictement inférieure à la moitié d'une plus petite longueur d'onde du champ acoustique.

11. Procédé de contrôle (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le sous-ensemble comprend plusieurs haut-parleurs émetteurs (12), les haut-parleurs émetteurs (12) étant agencés de manière à produire un premier front d'onde dans une zone d'écoute prédéterminée (19) présentant des interférences inférieures à un seuil prédéterminé entre des fronts d'ondes élémentaires émis respectivement par les haut-parleurs émetteurs (12), pour une bande de fréquences prédéterminée, à chaque instant et à chaque position de la zone d'écoute (19).

12. Procédé de contrôle (100) d'un champ acoustique, comprenant une phase de calibrage (104) comprenant des étapes de :

- émission (120) d'une onde sonore par un ensemble de haut-parleurs (12, 14) en fonction d'un signal prédéterminé ;

- mesure (122), respectivement pour le ou chaque haut-parleur (12, 14), d'une réponse de l'onde sonore par une pluralité de capteurs (16), pour obtenir des mesures

initiales, chaque mesure initiale étant associée à l'un du ou des haut-parleur(s) (12, 14) et étant en outre associée à l'un des capteurs (16) ;

- définition (123) d'un sous-ensemble des haut-parleurs (12, 14) selon un critère prédéterminé, chaque haut-parleur du sous-ensemble étant appelé haut-parleur émetteur (12) ;

- traitement (124), comprenant la détermination d'un ensemble de réponses calculées des haut-parleurs émetteurs (12), chaque réponse calculée correspondant à une réponse acoustique d'un haut-parleur émetteur (12) respectif du sous-ensemble à une position d'un capteur respectif (16) ;

- combinaison (126) des réponses calculées pour obtenir, pour chaque position, une réponse cible, les réponses cibles définissant un champ acoustique cible,

- détermination (128) d'un ensemble de filtres de transformation pour une reproduction d'un signal audio (50) par l'ensemble de haut-parleurs (12, 14), l'ensemble de filtres de transformation étant déterminé au moins en fonction de chaque mesure initiale et en fonction dudit champ acoustique cible obtenu à partir de chaque réponse calculée.

13. Procédé de contrôle (100) d'un champ acoustique selon l'une quelconque des revendications précédentes, le champ acoustique étant contrôlé dans une zone d'écoute (19) au moyen d'un système de contrôle (10) comprenant l'ensemble de haut-parleurs (12, 14), une pluralité de capteurs (16) et au moins un contrôleur (18), l'ensemble de haut-parleurs comprenant au moins un haut-parleur émetteur (12) et au moins un haut-parleur non-émetteur (14), le ou les haut-parleur(s) émetteur(s) (12) étant agencé(s) et contrôlé(s) de manière à être capable(s) de générer un premier front d'onde présentant une homogénéité spatiale et temporelle prédéterminée dans toute la zone d'écoute (19) et le ou les haut-parleur(s) non-émetteur(s) (14) ne contribuant pas à ce premier front d'onde, tous les haut-parleurs (12, 14) de l'ensemble de haut-parleurs corrigeant des réflexions et des résonances de l'onde sonore émise par le ou les haut-parleur(s) émetteur(s) (12) dans la zone d'écoute (19) le procédé comprenant, outre la phase de calibrage (104), une phase préliminaire (102), la phase préliminaire (102) comprenant la détermination d'un nombre et/ou d'un agencement des haut-parleurs de l'ensemble de haut-parleurs (12, 14) et/ou des capteurs de la pluralité de capteurs (16), de manière à obtenir le premier front d'onde émis par le ou les haut-parleur(s) émetteur(s) qui présente l'homogénéité spatiale et temporelle prédéterminée.

14. Procédé de contrôle (100) d'un champ acoustique selon la revendication 13, comprenant, outre la phase préliminaire (102) et la phase de calibrage (104), une phase de reproduction (106) d'un signal audio (50) à reproduire, la phase de reproduction (106) comprenant une étape de filtrage (140) et une étape de reproduction (142), dans l'étape de filtrage (140), le contrôleur (18) applique, pour chaque haut-parleur (12, 14), le filtre de transformation associé au haut-parleur (12, 14) considéré au signal audio (50) à reproduire pour obtenir un signal de contrôle pour le haut-parleur (12, 14) considéré, dans l'étape de reproduction (142), l'ensemble de haut-parleurs (12, 14) reproduit le signal audio (50) à reproduire en fonction de chaque signal de contrôle correspondant.

15. Procédé selon la revendication 13 ou la revendication 14, dans lequel les haut-parleurs émetteurs (12) sont agencés de sorte que la distance maximale entre deux haut-parleurs émetteurs adjacents est telle que les ondes émises par chacun des deux haut-parleurs adjacents se superposent à 0,25 longueur d'onde près dans le secteur angulaire de la zone d'écoute (19).

16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 13 à 15, dans lequel les haut-parleurs émetteurs (12) sont agencés :

- selon une configuration dite « double réseau de basses » ;
- dans un même plan ;
- selon un rectangle ; ou,
- selon une ligne droite, de préférence parallèlement à un mur d'une salle (20) à l'intérieur de laquelle se situe la zone d'écoute (19).

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 13 à 16, dans lequel la combinaison pour définir le champ cible comprend l'application d'un filtre modifiant l'amplitude, la phase et/ou le retard de l'onde sonore soit de la mesure traitée soit de la réponse calculée de chaque haut-parleur émetteur (12), ledit filtre étant de préférence construit par des techniques de « formation de faisceaux » permettant d'orienter et/ou de contrôler une largeur du premier front d'onde engendré par l'action combinée des haut-parleurs émetteurs (12).

18. Programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur relié à un ensemble de haut-parleurs et une pluralité de capteurs, mettent en œuvre un procédé de contrôle (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes.

19. Système de contrôle (10) d'un champ acoustique comprenant un ensemble de haut-parleurs (12, 14), une pluralité de capteurs (16) et au moins un contrôleur (18), adapté pour la mise en œuvre d'un procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 17.

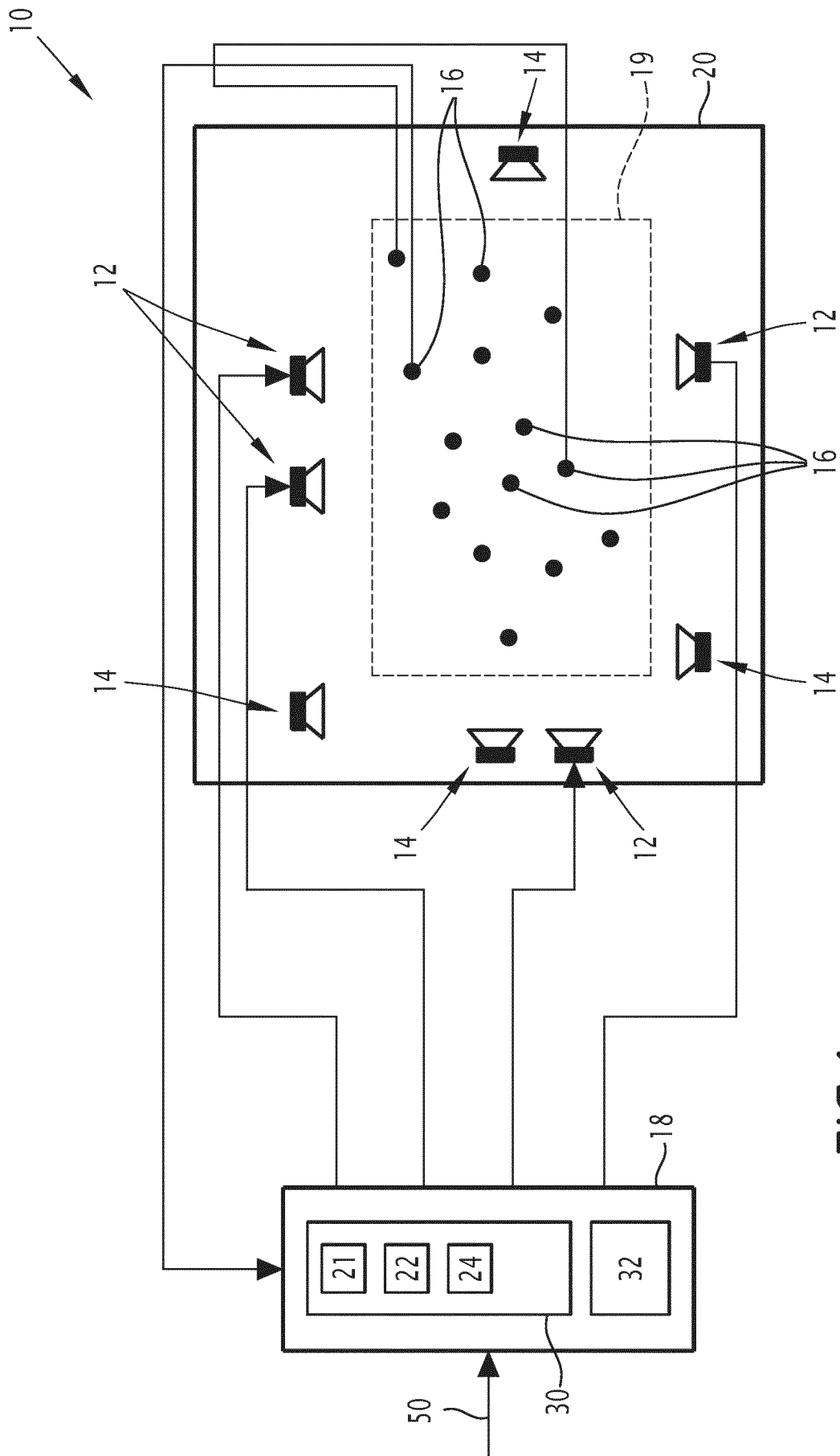
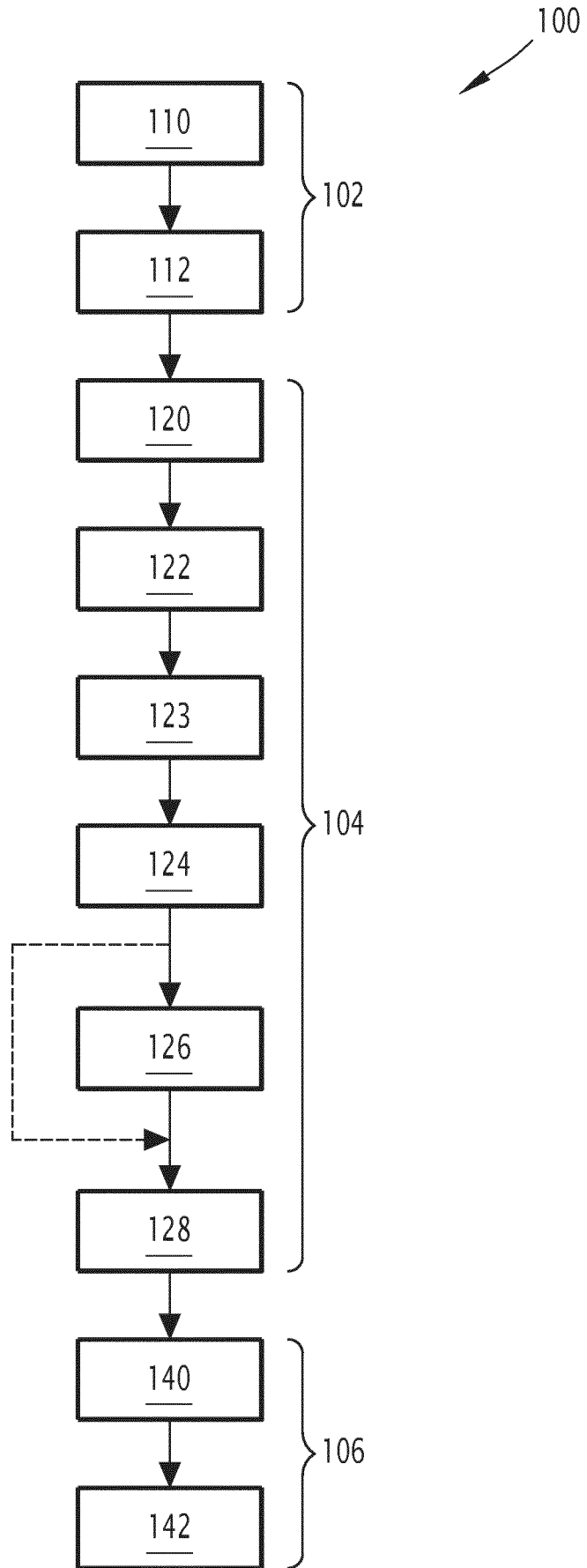


FIG.1

FIG.2



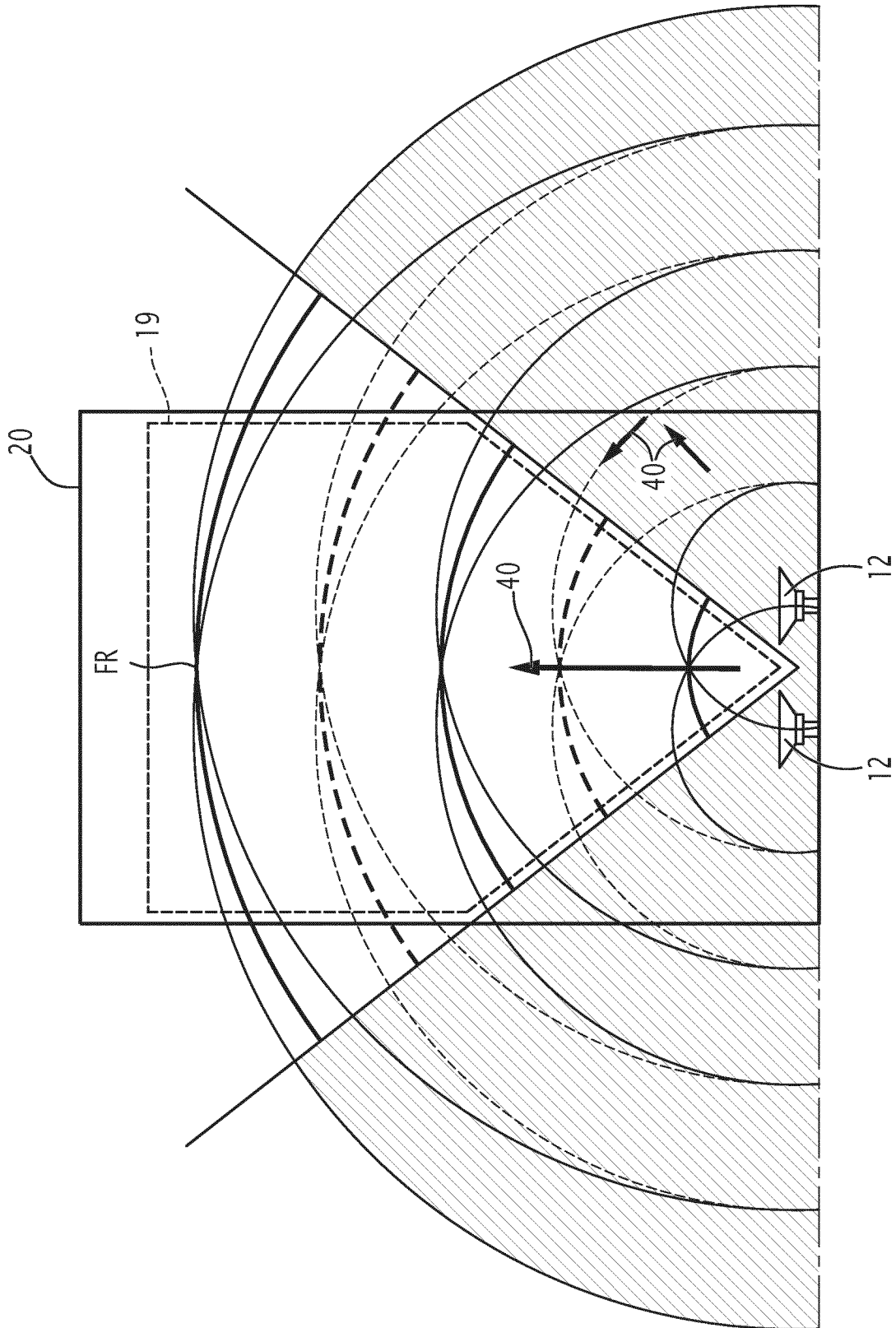


FIG.3

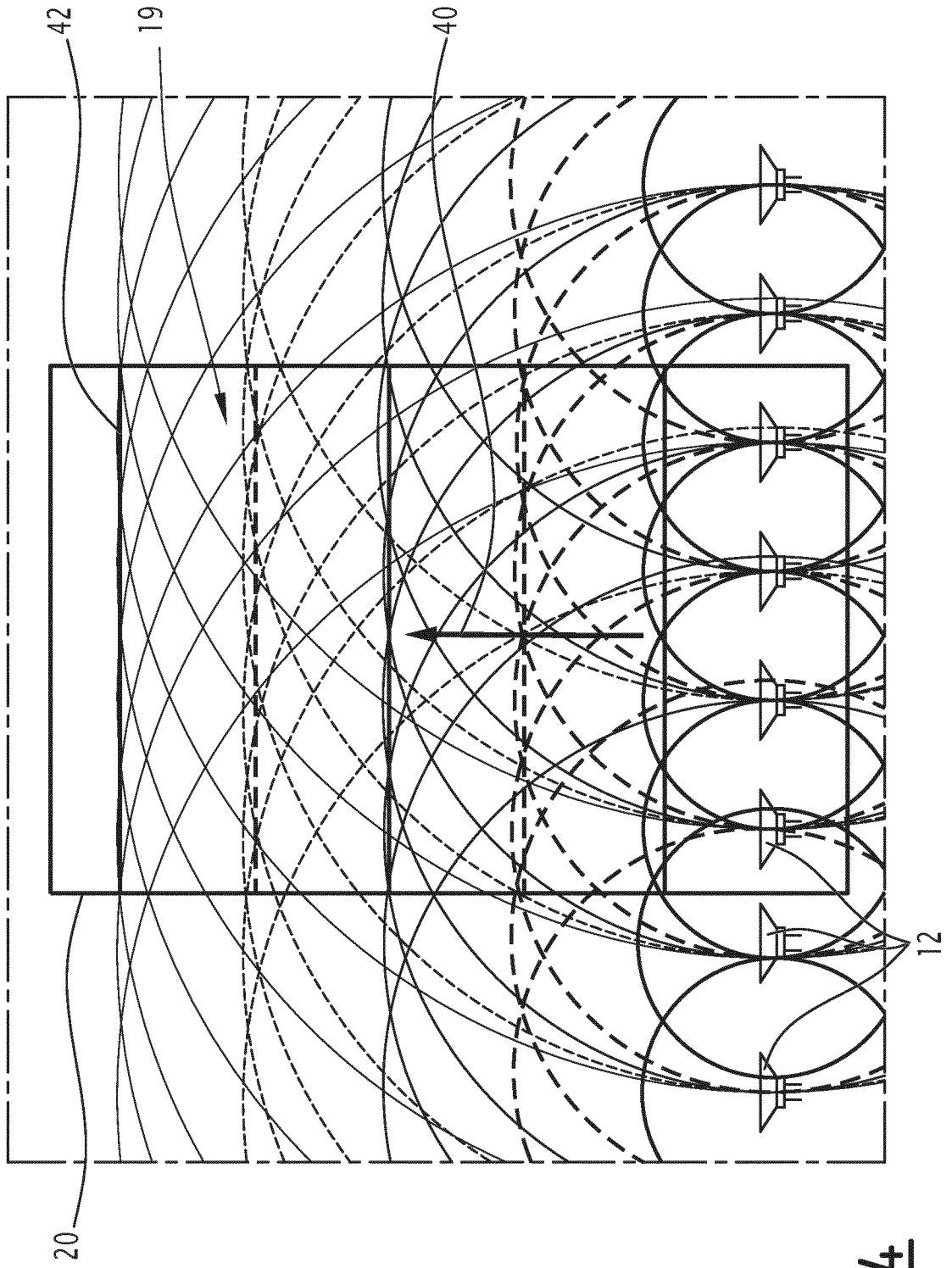


FIG. 4

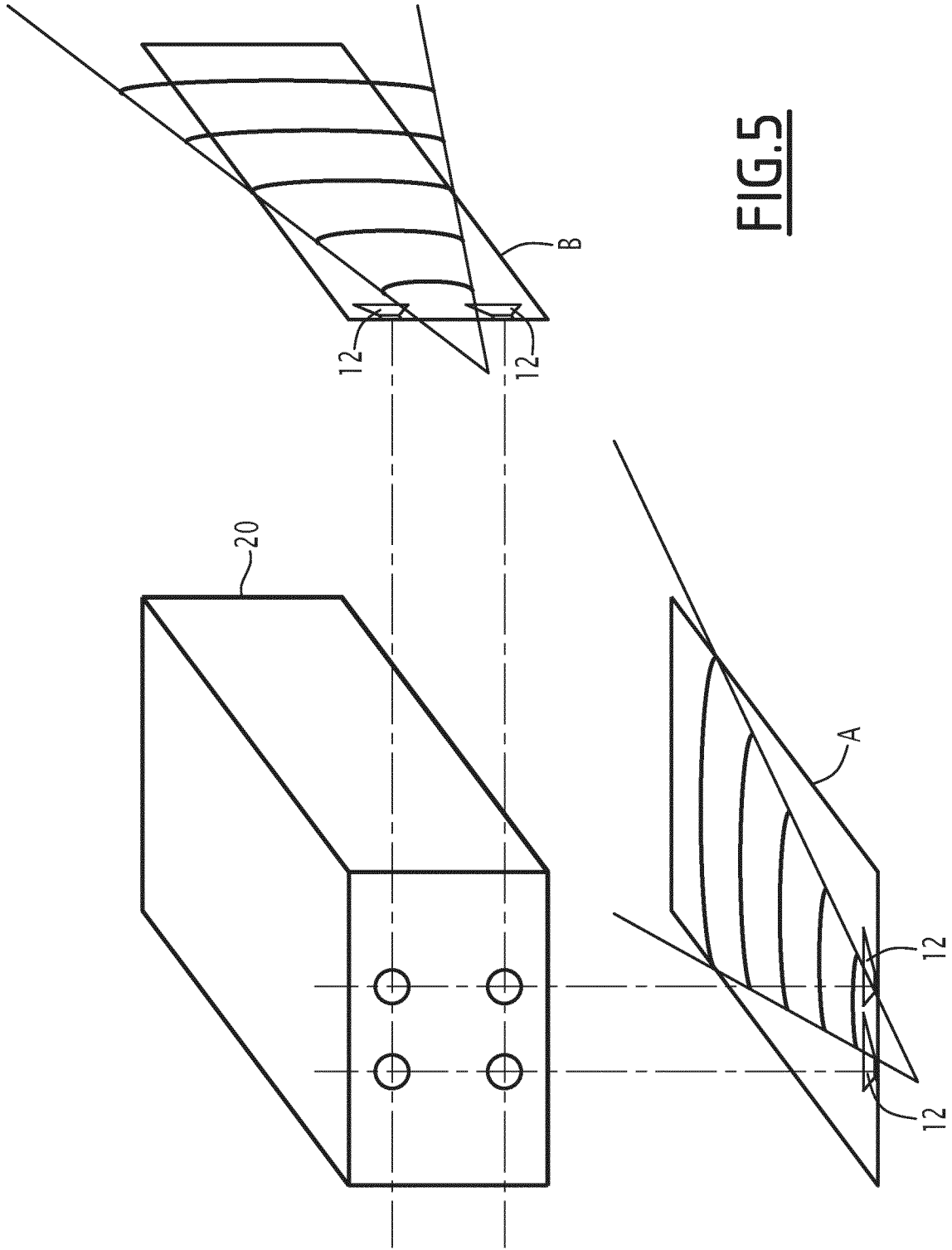


FIG.5

6/13

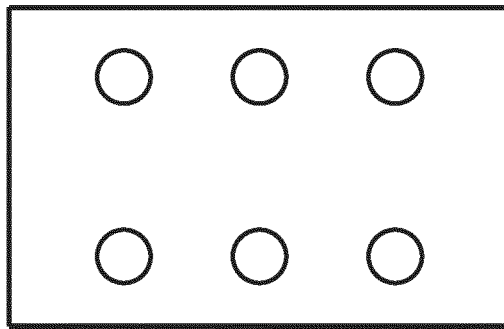


FIG.6

7/13

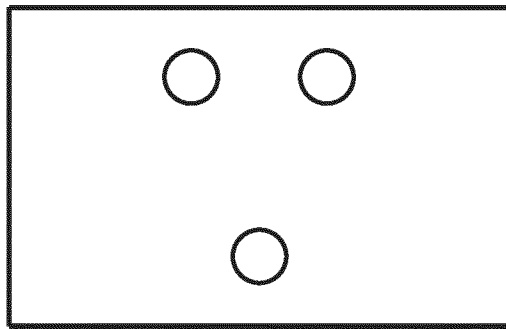


FIG.7

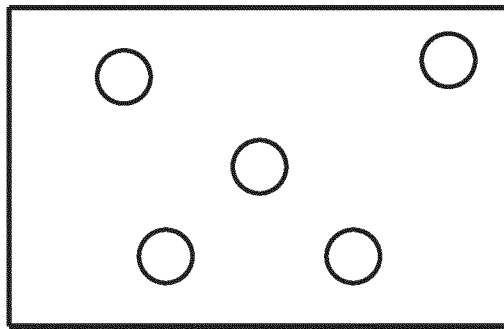


FIG.8

9/13

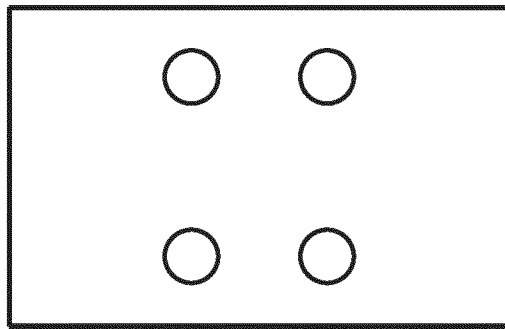


FIG.9

10/13

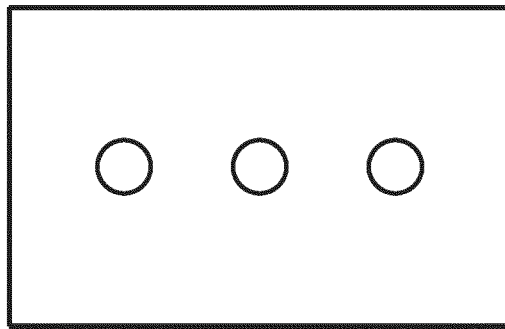


FIG.10

11/13

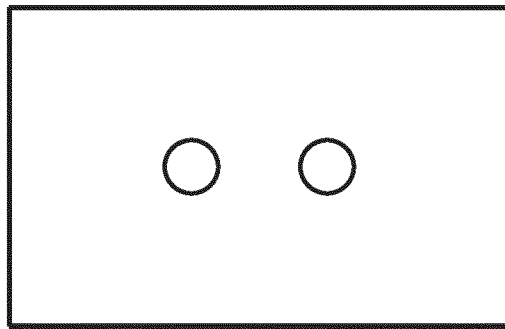


FIG.11

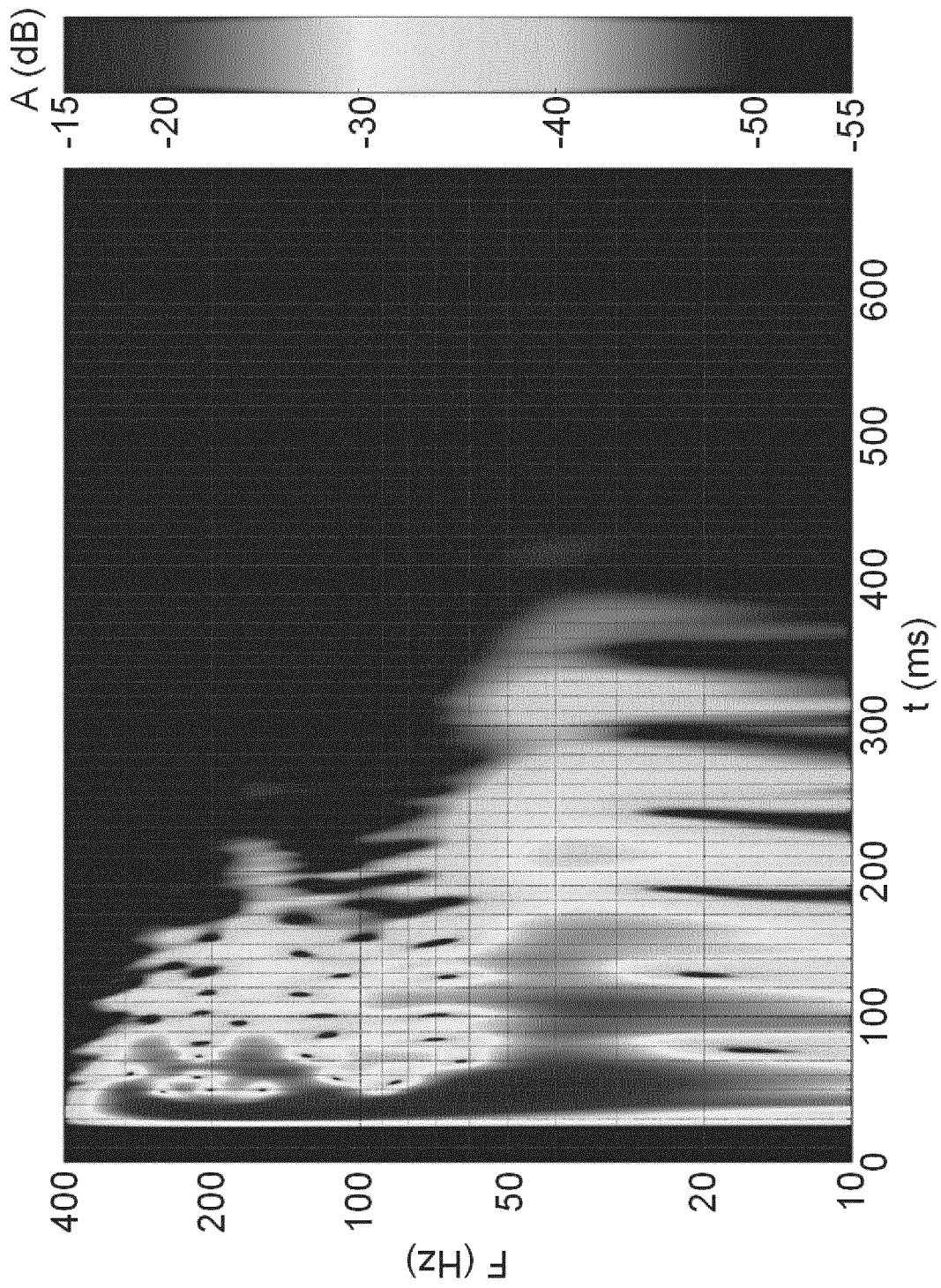


FIG.12

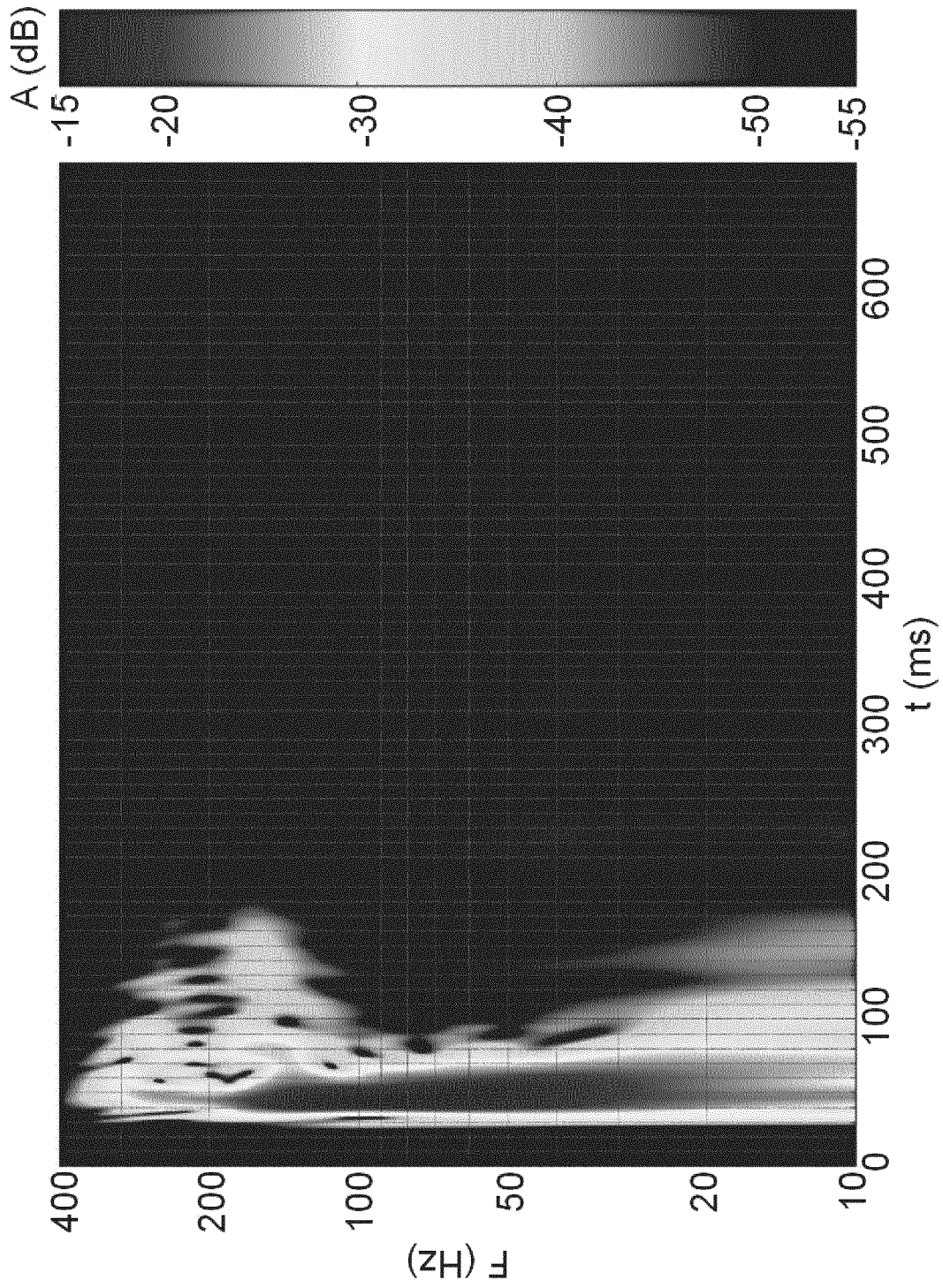


FIG.13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/051865

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H04R 27/00**(2006.01)i; **H04S 7/00**(2006.01)i; **H04R 3/12**(2006.01)n; **H04R 1/40**(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04R; H04S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5815580 A (CRAVEN PETER G [GB] ET AL) 29 September 1998 (1998-09-29) paragraphs [0003] - [0005], [0024] - [0038]; figure 1	1-14
A	US 2017053641 A1 (KAMDAR SUKETU [US] ET AL) 23 February 2017 (2017-02-23) column 32, line 65 - column 35, line 34; figures 27-28	1-14

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 April 2024

Date of mailing of the international search report

18 April 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Joder, Cyril

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2024/051865

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	5815580	A	29 September 1998	CA	2098190	A1	11 June 1992
				DE	69132085	T2	21 December 2000
				DE	69819090	T2	03 June 2004
				EP	0561881	A1	29 September 1993
				EP	0898364	A2	24 February 1999
				HK	1000722	A1	16 June 2000
				HK	1018990	A1	14 January 2000
				KR	100312636	B1	28 December 2001
				US	5511129	A	23 April 1996
				US	5627899	A	06 May 1997
				US	5815580	A	29 September 1998
				WO	9210876	A1	25 June 1992
				US	2017053641	A1	23 February 2017
EP	3338466	A1	27 June 2018				
HK	1256719	A1	04 October 2019				
JP	2018528685	A	27 September 2018				
KR	20180042360	A	25 April 2018				
US	2017053641	A1	23 February 2017				
US	2018197526	A1	12 July 2018				
US	2019189105	A1	20 June 2019				
US	2020302908	A1	24 September 2020				
WO	2017035013	A1	02 March 2017				

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2024/051865

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H04R27/00 H04S7/00
ADD. H04R3/12 H04R1/40

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
H04R H04S

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 815 580 A (CRAVEN PETER G [GB] ET AL) 29 septembre 1998 (1998-09-29) alinéas [0003] - [0005], [0024] - [0038]; figure 1	1-14
A	US 2017/053641 A1 (KAMDAR SUKETU [US] ET AL) 23 février 2017 (2017-02-23) colonne 32, ligne 65 - colonne 35, ligne 34; figures 27-28	1-14

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

3 avril 2024

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

18/04/2024

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Joder, Cyril

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2024/051865

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication			
US 5815580	A	29-09-1998	CA 2098190 A1	11-06-1992			
			DE 69132085 T2	21-12-2000			
			DE 69819090 T2	03-06-2004			
			EP 0561881 A1	29-09-1993			
			EP 0898364 A2	24-02-1999			
			HK 1000722 A1	16-06-2000			
			HK 1018990 A1	14-01-2000			
			KR 100312636 B1	28-12-2001			
			US 5511129 A	23-04-1996			
			US 5627899 A	06-05-1997			
			US 5815580 A	29-09-1998			
			WO 9210876 A1	25-06-1992			

			US 2017053641	A1	23-02-2017	CN 108141687 A	08-06-2018
EP 3338466 A1	27-06-2018						
HK 1256719 A1	04-10-2019						
JP 2018528685 A	27-09-2018						
KR 20180042360 A	25-04-2018						
US 2017053641 A1	23-02-2017						
US 2018197526 A1	12-07-2018						
US 2019189105 A1	20-06-2019						
US 2020302908 A1	24-09-2020						
WO 2017035013 A1	02-03-2017						
