



(11)

EP 4 319 201 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
07.02.2024 Bulletin 2024/06

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H04R 29/00 ^(2006.01) **H04R 5/033** ^(2006.01)
H04R 1/10 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **23189296.9**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H04R 29/001; H04R 29/004; H04R 5/033;
H04R 2460/01

(22) Date de dépôt: **02.08.2023**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(71) Demandeur: **Devialet**
75001 Paris (FR)

(72) Inventeur: **HOANG CO THUY, Vu**
75012 PARIS (FR)

(74) Mandataire: **Lavoix**
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(30) Priorité: **03.08.2022 FR 2208063**

(54) **PROCÉDÉ DE CALIBRAGE D'UN DISPOSITIF AUDIO NOMADE, SYSTÈME DE CALIBRAGE D'UN DISPOSITIF AUDIO NOMADE ET PRODUIT PROGRAMME D'ORDINATEUR ASSOCIÉS**

(57) La présente invention concerne un procédé de calibrage d'un dispositif audio nomade 10 comprenant au moins un microphone nomade 20, 25 et un haut-parleur nomade 15, le dispositif audio nomade 10 étant disposé dans un caisson 95 comprenant un système de calibrage 75.

Le système de calibrage comporte un microphone de calibrage 80, un haut-parleur de calibrage 85, et un dispositif électronique de calibrage 90.

Le procédé comprend :

- une phase d'émission d'un signal audio au haut-parleur nomade ou au haut-parleur de calibrage pour son émission,
- une phase de calibrage comportant :
 - une réception d'un signal résultant de l'acquisition du signal audio émis par le microphone nomade ou le microphone de calibrage,
 - une détermination d'un filtre de calibrage H_calib_SPK ; H_calib_FB ; H_calib_FF, à partir du signal reçu,

- une phase d'implémentation, dans le dispositif audio nomade, du filtre de calibrage déterminé.

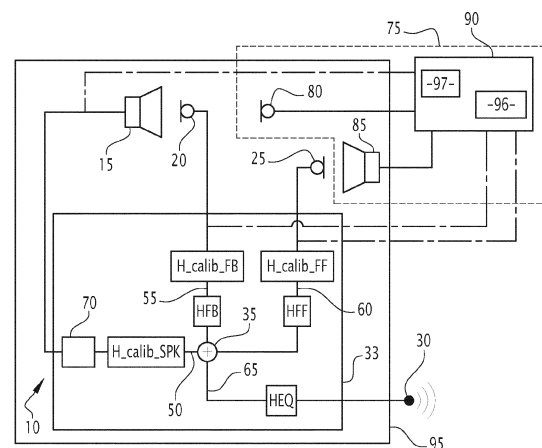


FIG.2

Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de calibrage d'un dispositif audio nomade.

[0002] L'invention concerne également un produit programme d'ordinateur et un système de calibrage d'un système audio nomade.

[0003] L'invention concerne le domaine de la fabrication de dispositifs audio nomades.

[0004] On entend par « dispositif audio nomade » un dispositif configuré pour restituer, à un utilisateur du dispositif, un contenu audio provenant d'une source audio, le dispositif étant transportable avec la source audio. La source audio est par exemple un baladeur MP3 ou un téléphone intelligent (de l'anglais, *smartphone*). Le dispositif audio nomade est un dispositif intra-auriculaire, également appelé paire d'écouteurs. En variante, le dispositif audio nomade est par exemple un dispositif extra-auriculaire, également appelé casque audio.

[0005] De manière connue en soi, un dispositif audio nomade comprend au moins un haut-parleur nomade et préférentiellement pour chaque haut-parleur nomade, un microphone nomade interne et au moins un microphone nomade externe.

[0006] Le haut-parleur nomade est configuré pour restituer un contenu sonore provenant de la source.

[0007] De manière connue en soi, le microphone nomade interne est orienté vers le haut-parleur nomade, et destiné à être positionné entre ledit haut-parleur nomade et une oreille de l'utilisateur. Le microphone nomade est configuré pour acquérir le signal audio diffusé par le haut-parleur nomade.

[0008] Le microphone nomade externe est disposé sur une périphérie du dispositif audio nomade et orienté vers un extérieur du dispositif. Le microphone nomade externe est configuré pour acquérir le flux audio environnant le dispositif audio nomade, tel que les paroles de l'utilisateur.

[0009] De manière connue en soi, le haut-parleur nomade, le microphone nomade externe et le haut-parleur nomade permettent conjointement avec la source, de réaliser une fonctionnalité de téléphonie par kit main libre. Dans une telle fonctionnalité, les paroles de l'utilisateur sont acquises par le microphone nomade externe et les paroles d'un tiers avec lequel l'utilisateur échange sont restituées par le haut-parleur nomade.

[0010] En outre, de manière connue en soi, le haut-parleur nomade, le microphone nomade interne et le microphone nomade externe permettent de mettre en oeuvre une fonctionnalité réduction active d'un bruit environnant le dispositif audio nomade.

[0011] Selon cette fonctionnalité, le bruit environnant est acquis par le microphone nomade extérieur. Ce bruit est traité par un filtre et un signal est émis au haut-parleur nomade pour s'annuler avec le bruit environnant ayant traversé le dispositif audio. En outre, le microphone nomade interne permet de contrôler, par un filtre respectif, qu'un bruit résiduel au niveau d'un tympan de l'utilisateur est minime. Une rétroaction est effectuée sur le haut-parleur nomade en fonction du signal acquis par le microphone nomade interne.

[0012] Il est donc clair que les microphones interne et externe et le haut-parleur sont connectées. Des fonctions de transfert entre ces éléments peuvent donc être calculées.

[0013] De manière connue en soi, chacun du haut-parleur nomade et des microphones nomades présente une réponse fréquentielle qui lui est propre.

[0014] Les haut-parleurs et microphones sont généralement des composants produits en série. Il est donc connu de déterminer, pour chaque modèle, une réponse fréquentielle nominale respective et une dispersion maximum entre la réponse fréquentielle d'un composant spécifique et la réponse nominale associée au modèle du composant.

[0015] De manière classique, la dispersion maximale est par exemple égale à plus ou moins 3dB.

[0016] Dans un contexte industriel, il est souvent nécessaire de concevoir chaque filtre du dispositif audio nomade en fonction de la réponse fréquentielle nominale de chaque composant sans tenir compte de la dispersion entre le comportement des composants effectivement dans le casque audio et leur comportement nominal. En outre, la conception de chaque filtre ne prend généralement pas compte des défauts lors de l'assemblage des composants pour former le dispositif audio nomade.

[0017] Cependant, lorsque la réponse fréquentielle d'un composant dans le dispositif audio varie significativement de la réponse fréquentielle nominale ou lorsque le dispositif présente un défaut d'assemblage, les filtres ne sont plus forcément adaptés au dispositif obtenu.

[0018] L'expérience utilisateur est alors au moins dégradée. Dans les pires scénarii, ces défauts sont susceptibles de conduire à une instabilité des fonctions de transfert en boucle fermée et donc à la génération de larsen, ce qui est particulièrement désagréable pour l'utilisateur.

[0019] La présente invention propose un procédé de calibrage d'un dispositif audio nomade, un produit programme d'ordinateur et un système de calibrage associé permettant d'éviter de tels problèmes.

[0020] À cet effet, l'invention a pour objet un procédé de calibrage d'un dispositif audio nomade, tel qu'un casque ou une paire d'écouteurs, comprenant au moins un microphone nomade et un haut-parleur nomade, le dispositif audio nomade étant disposé dans un caisson comprenant un système de calibrage, le système de calibrage comportant un microphone de calibrage, un haut-parleur de calibrage, et un dispositif électronique

EP 4 319 201 A1

de calibrage propre à être connecté au microphone de calibrage et au haut-parleur de calibrage, le procédé étant mis en oeuvre par le dispositif électronique de calibrage et comprenant :

- au moins une phase d'émission lors de laquelle un signal audio est envoyé à l'un parmi le haut-parleur nomade et le haut-parleur de calibrage, le signal audio étant émis par ledit haut-parleur,
- une phase de calibrage lors de laquelle au moins un parmi l'au moins un microphone nomade et le haut-parleur nomade est calibré, la phase de calibrage comportant :
 - une réception, depuis l'un parmi l'au moins un microphone nomade et le microphone de calibrage, d'un signal résultant de l'acquisition par ledit microphone du signal audio émis,
 - une détermination d'un filtre de calibrage, à partir du signal reçu lors de la réception, le filtre de calibrage étant un filtre numérique comprenant un gain dont une valeur varie fréquemment, le filtre de calibrage étant :
 - soit propre à l'au moins un microphone nomade et configuré pour filtrer tout signal acquis par ledit microphone nomade,
 - soit propre au haut-parleur nomade et configuré pour filtrer tout signal destiné à être émis par ledit haut-parleur nomade,
- une phase d'implémentation, dans le dispositif audio nomade, du filtre de calibrage déterminé lors de la phase de calibrage.

[0021] Avec la détermination d'un filtre de calibrage et son implémentation dans le dispositif audio nomade, les performances dudit dispositif sont améliorées en fonction des performances du haut-parleur nomade et du microphone nomade effectivement présents dans le dispositif audio nomade et pas uniquement à partir des performances nominales du modèle de ces composants.

[0022] Selon des modes de réalisation particuliers de l'invention, le procédé de calibrage selon l'invention comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- la phase d'émission comprend une étape d'émission par le haut-parleur nomade lors de laquelle un signal audio est envoyé au haut-parleur nomade pour son émission par ledit haut-parleur nomade,
 - la phase de calibrage comprenant une étape de calibrage du haut-parleur nomade, lors de la réception de ladite étape de calibrage, le signal audio est reçu depuis le microphone de calibrage, lors de la détermination de ladite étape de calibrage, le filtre de calibrage déterminé est propre au haut-parleur nomade, et dit filtre de calibrage du haut-parleur,
- le dispositif audio nomade comprend deux microphones nomades, les deux microphones nomades comportant un microphone nomade interne orienté vers le haut-parleur nomade, et un microphone nomade externe orienté vers un extérieur du dispositif audio nomade,
- la phase de calibrage comprend en outre une étape de calibrage du microphone nomade interne,
 - lors de la réception de l'étape de calibrage du microphone nomade interne, le signal audio est reçu depuis le microphone nomade interne, lors de la détermination de l'étape de calibrage du microphone nomade interne, le filtre de calibrage déterminé est propre au microphone nomade interne, et dit filtre de calibrage du microphone interne,
- l'étape de calibrage du microphone nomade interne comprend en outre :
 - une application du filtre de calibrage du haut-parleur au signal reçu lors de la réception de l'étape de calibrage du microphone nomade interne, pour former un signal filtré, lors de l'étape de détermination de la phase de calibrage du microphone nomade interne, le filtre de calibrage du microphone interne est déterminé en fonction du signal filtré,
- la phase d'émission comprend une étape d'émission par le haut-parleur de calibrage, lors de laquelle un signal audio est envoyé au haut-parleur de calibrage pour son émission par ledit haut-parleur de calibrage,

la phase de calibrage comprenant une étape de calibrage du microphone nomade externe,
lors de la réception de l'étape de calibrage du microphone nomade externe, le signal audio est reçu depuis le
microphone nomade externe,
lors de la détermination de l'étape de calibrage du microphone nomade externe, le filtre de calibrage déterminé
est propre au microphone nomade externe, et dit filtre de calibrage du microphone externe,

- le dispositif audio nomade comprend en outre une unité de commande comportant un sommateur, une première connexion reliant le sommateur au haut-parleur nomade, une deuxième connexion reliant le microphone nomade interne au sommateur, et une troisième connexion reliant le microphone nomade externe au sommateur,

le dispositif audio nomade comprenant en outre, un premier filtre prédéterminé sur la deuxième connexion, un deuxième filtre prédéterminé sur la troisième connexion,
lors de la phase d'implémentation, le ou au moins l'un des filtres de calibrage étant implémenté sur l'une des première, deuxième et troisième connexions,

- la ou chaque sous-étape de détermination comprend :
 - un calcul d'une erreur fréquentielle entre le signal reçu correspondant et un signal de référence prédéterminé,
 - une détection d'extremum(s) de l'erreur fréquentielle,
 - pour au moins un extremum détecté :
 - un calcul d'une bande de fréquence autour de l'extremum,
 - une détermination d'un filtre unitaire paramétrable en fonction de l'erreur fréquentielle dans la bande de fréquence,
 - une génération du filtre de calibrage à partir du ou de chaque filtre unitaire paramétrable,

chaque filtre unitaire paramétrable comportant de préférence les paramètres réglables suivants : une fréquence centrale, un gain maximal, et un facteur qualité,
de préférence, chaque filtre unitaire paramétrable comportant en outre un type de filtre choisis dans un groupe consistant en : un filtre pic ou creux, un filtre passe-bas étagé, et un filtre passe-haut étagé,

- pour chaque extremum détecté, lors du calcul de la bande de fréquence, chaque bande de fréquence est délimitée par une borne inférieure et une borne supérieure,

la borne inférieure de la bande de fréquence étant la borne supérieure de la bande de fréquence précédente, la borne supérieure de la bande de fréquence étant calculée selon l'équation suivante :

$$f_2^i = 10^{(\alpha \log(f_{ext}^i) + (1-\alpha) \log(f_{ext}^{i+1}))}$$

où

- f_{ext}^i est la fréquence de l'extremum détecté dans ladite bande de fréquence B_i ,
- f_{ext}^{i+1} est la fréquence de l'extremum détecté dans ladite bande de fréquence suivante,

$$\alpha = \frac{|Err(f_{ext}^i)|}{|Err(f_{ext}^i)| + |Err(f_{ext}^{i+1})|},$$

- $|Err(f_{ext}^i)|$ est la norme de l'erreur évaluée à la fréquence de l'extremum détecté dans ladite bande de fréquence, et
- $|Err(f_{ext}^{i+1})|$ est la norme de l'erreur évaluée à la fréquence de l'extremum détecté dans la bande de fréquence suivante ; et
- le dispositif audio nomade comprend au moins deux chaînes audio, chaque chaîne audio comportant au moins un

microphone nomade respectif et un haut-parleur nomade respectif,

les étapes du procédé de calibrage étant itérées pour chaque chaîne audio.

[0023] La présente invention a également pour objet un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions logicielles, qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, mettent en oeuvre le procédé de calibrage tel que décrit ci-dessus.

[0024] La présente invention a également pour objet un système de calibrage d'un dispositif audio nomade, tel qu'un casque ou une paire d'écouteur, le dispositif audio nomade comprenant au moins un microphone nomade, un haut-parleur nomade, le dispositif audio nomade étant propre à être placé dans le système de calibrage,

le système de calibrage comprenant un microphone de calibrage, un haut-parleur de calibrage, et un dispositif électronique de calibrage propre à exécuter des instructions logicielles d'un produit programme d'ordinateur décrit plus haut.

[0025] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement 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 dispositif audio nomade avant l'application d'un procédé de calibrage selon l'invention ;
- [Fig. 2] La figure 2 est une vue schématique du dispositif audio nomade de la figure 1 lors de la mise en oeuvre du procédé de calibrage selon l'invention ; et
- [Fig. 3] La figure 3 est un organigramme du procédé de calibrage selon l'invention.

[0026] Sur la figure 1, un dispositif audio nomade 10 est représenté.

[0027] Dans l'exemple de la figure 1, le dispositif audio nomade 10 est une paire d'écouteurs. En variante non représentée, le dispositif audio nomade est un casque audio.

[0028] Le dispositif audio nomade 10 comprend optionnellement une première chaîne audio CH1 et une deuxième chaîne CH2.

[0029] Par exemple, la première chaîne audio CH1 est la chaîne gauche, i.e. destinée à diffuser du contenu à une oreille gauche d'un utilisateur. Dans cet exemple, la deuxième chaîne CH2 est une chaîne droite, i.e. destinée à diffuser du contenu à une oreille droite d'un utilisateur.

[0030] Il est clair qu'une configuration inversée est également possible.

[0031] Le dispositif audio nomade 10 comprend, préférentiellement pour chaque chaîne audio CH1, CH2, un haut-parleur nomade 15 et au moins un microphone nomade 20, 25.

[0032] En outre, le dispositif audio nomade 10 comprend, préférentiellement pour chaque chaîne audio CH1, CH2, un point de connexion 30 avec une source audio non représentée, et une unité de commande 33.

[0033] Le haut-parleur nomade 15 est configuré pour diffuser un contenu provenant de la source audio. Optionnellement, le haut-parleur nomade 15 est configuré pour diffuser un contenu déterminé par l'unité de commande 33, par exemple afin de réaliser une fonctionnalité de réduction de bruit active.

[0034] Le microphone nomade 20, 25 est configuré pour acquérir un signal audio. Préférentiellement, le dispositif audio nomade 10 comprend, avantageusement pour chaque chaîne CH1, CH2, un microphone nomade interne 20 et au moins un microphone nomade externe 25.

[0035] Le microphone nomade interne 20, aussi appelé microphone interne 20, est configuré pour acquérir le signal audio entre le haut-parleur nomade 15 et l'oreille de l'utilisateur, en particulier le signal audio diffusé par le haut-parleur nomade 15. On comprend alors que, lorsque le dispositif audio est porté par un utilisateur, le microphone nomade interne 20 est disposé entre le haut-parleur nomade 15 et un tympan de l'utilisateur. Le microphone nomade interne 20 est alors configuré pour acquérir le signal audio entendu par l'utilisateur.

[0036] Le microphone nomade externe 25, aussi appelé microphone externe 25, est configuré pour acquérir un flux audio environnant le dispositif audio nomade 10. À cet effet, le microphone externe 25 est disposé sur une périphérie du dispositif audio nomade 10 et orienté vers un extérieur dudit dispositif 10.

[0037] Le point de connexion 30 est configuré pour recevoir, depuis la source audio, un contenu à diffuser par le haut-parleur nomade 15. Le point de connexion 30 est par exemple configuré pour communiquer avec la source audio par une connexion filaire ou, comme représenté sur la figure 1, par une connexion sans fil suivant un protocole prédéfini, tel que le protocole Bluetooth ou WIFI.

[0038] L'unité de commande 33 est configurée pour commander le signal envoyé au haut-parleur nomade 15 en fonction du signal reçu depuis le point de connexion 30, du signal acquis par le microphone interne 20 et du signal acquis par le microphone externe 25.

[0039] L'unité de commande 33 est connectée au haut-parleur nomade 15, au microphone interne 20, au microphone externe 25 et au point de connexion 30. L'unité de commande 33 est par exemple une carte électronique comportant une pluralité de modules logiciels.

[0040] L'unité de commande 33 comprend un sommateur 35, une première connexion 50 reliant le sommateur 35 et le haut-parleur nomade 15, une deuxième connexion 55 reliant le microphone interne 20 et le sommateur 35, une troisième connexion 60 reliant le microphone externe 25 et le sommateur 35 et préférentiellement une quatrième connexion 65 reliant le point de connexion 30 et le sommateur 35.

[0041] L'unité de commande 33 comprend par exemple un bloc 70 de conversion et d'amplification sur la première connexion 50. Le bloc 70 est par exemple formé d'un convertisseur DAC (de l'anglais, *Digital-to-Analog Converter*) propre à convertir un signal numérique, issu du sommateur 35 en un signal analogique d'excitation du haut-parleur nomade 15, et d'un amplificateur du signal analogique.

[0042] L'unité de commande 33 comprend en outre de préférence un premier filtre prédéterminé HFB sur la deuxième connexion 55. Le premier filtre prédéterminé HFB est configuré pour filtrer le signal acquis depuis le microphone interne 20 avant de l'envoyer au sommateur 35.

[0043] L'unité de commande 33 comprend en outre de préférence un deuxième filtre prédéterminé HFF sur la troisième connexion 60. Le deuxième filtre prédéterminé HFF est configuré pour filtrer le signal acquis depuis le microphone nomade externe 25 avant de le transmettre au sommateur 35.

[0044] Les premiers HFB et deuxièmes HFF filtres prédéterminés sont par exemple conçus en fonction d'une réponse fréquentielle nominale des microphones interne 20 et externe 25, telle que fournie par un fabricant desdits microphones et mesurée sur des prototypes de référence.

[0045] L'unité de commande 33 comprend en outre un égaliseur HEQ sur la quatrième connexion 65. L'égaliseur HEQ est configuré pour effectuer une égalisation du signal provenant du point de connexion 30 avant de le transmettre au sommateur 35.

[0046] Sur la figure 2, le dispositif audio nomade 10 est couplé avec un système de calibrage 75 pour calibrer ledit dispositif audio 10. Sur la figure 2, seulement une chaîne CH1, CH2 du dispositif audio nomade 10 est représentée.

[0047] Le système de calibrage 75 comprend un microphone de calibrage 80, un haut-parleur de calibrage 85 et un dispositif électronique de calibrage 90 propre à être connecté au microphone de calibrage 80 et au haut-parleur de calibrage 85.

[0048] Pour effectuer le calibrage du dispositif audio nomade 10, ledit dispositif 10, le microphone de calibrage 80 et le haut-parleur de calibrage 85 sont placés dans un caisson 95 acoustiquement hermétique. Le microphone de calibrage 85 est positionné de manière contiguë au microphone nomade interne 20, par exemple au sein d'une oreille artificielle non-représentée. Et le haut-parleur de calibrage 85 est positionné à l'extérieur du dispositif audio nomade 10.

[0049] Le microphone de calibrage 80 et le haut-parleur de calibrage 85 sont connectés au dispositif électronique de calibrage 90 comme visible sur la figure 2 en trait plein.

[0050] Le haut-parleur nomade 15, le microphone interne 20, et le microphone externe 25 sont connectés au dispositif électronique de calibrage 90, comme représenté sur la figure 2 en trait mixte.

[0051] Le dispositif électronique de calibrage 90 est localisé à l'extérieur du caisson 95. Le dispositif électronique de calibrage 90 est par exemple un ordinateur comportant une mémoire 96 et un processeur 97 propre à exécuter des instructions logicielles stockées dans la mémoire 96.

[0052] La mémoire 96 stocke un programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par le processeur 97, mettent en oeuvre un procédé de calibrage du dispositif audio nomade 10 tel que décrit ci-dessous.

[0053] En référence à la figure 3, le procédé de calibrage du dispositif audio nomade 10 comprend une phase d'émission lors de laquelle un signal audio est envoyé à l'un parmi les haut-parleurs nomades 15 et le haut-parleur de calibrage 85.

[0054] La phase d'émission comprend préférentiellement tout d'abord une première étape d'émission PE_nomade lors de laquelle le dispositif de calibrage 90 envoie au haut-parleur nomade 15, un signal audio, dit premier signal audio. Suite à cette première étape d'émission PE, le haut-parleur nomade 15 émet le premier signal audio en direction du microphone nomade interne 20 et du microphone de calibrage 80. Le premier signal audio est par exemple un balayage continu sinusoïdal (de l'anglais, *sweep*). Lors de l'émission du premier signal audio par le haut-parleur nomade 15, le microphone de calibrage 80 et le microphone nomade interne 20 acquièrent le signal émis.

[0055] Puis, le procédé de calibrage comprend une phase de calibrage d'au moins un parmi le haut-parleur nomade 15, le microphone nomade interne 20 et le microphone nomade externe 25.

[0056] La phase de calibrage comprend préférentiellement une étape PC_SPK de calibrage du haut-parleur nomade 15.

[0057] L'étape de calibrage PC_SPK comprend une première sous-étape de réception 112, lors de laquelle le dispositif électronique de calibrage 90 reçoit, depuis le microphone de calibrage 80, le signal résultant de l'acquisition par ledit microphone du premier signal audio émis par le haut-parleur nomade 15.

[0058] L'étape de calibrage PC_SPK comprend en outre une première sous-étape de détermination 114, lors de laquelle le dispositif de calibrage 90 détermine un premier filtre de calibrage H_calib_SPK à partir du signal reçu depuis le microphone de calibrage 80. Le premier filtre de calibrage H_calib_SPK est un filtre numérique comprenant un gain dont une valeur évolue fréquemment. On entend par « un gain dont une valeur évolue fréquemment » le fait

que le gain prend des valeurs distinctes en fonction de la fréquence du signal qui est fourni au filtre associé. Le premier filtre de calibrage H_calib_SPK est propre au haut-parleur nomade 15.

[0059] Pour cela, la première sous-étape de détermination 114 comprend avantageusement le calcul d'une erreur fréquentielle $Err(f)$ entre le signal reçu lors de la première sous-étape de réception 112 et un premier signal de référence prédéterminé.

[0060] Le premier signal de référence correspond au signal qu'aurait dû acquérir le microphone de calibrage 80 si la réponse fréquentielle du haut-parleur nomade 15 était exactement la réponse fréquentielle nominale d'un produit de référence.

[0061] Pour calculer cette erreur $Err(f)$, dans l'exemple qui suit, le dispositif de calibrage 90 calcule une transformée de Fourier du signal reçu depuis le microphone de calibrage 80. De manière connue en soi, le signal issu de la transformée de Fourier comprend une amplitude et une phase évoluant respectivement fréquemment.

[0062] Toujours lors du calcul de l'erreur fréquentielle $Err(f)$, le dispositif de calibrage 90 soustrait par exemple l'amplitude de la transformée de Fourier à l'amplitude du premier signal de référence prédéterminé, par exemple selon l'équation suivante :

[MATH 1]

$$Err(f) = dB(Target(f)) - dB(Init(f))$$

où $Target(f)$ est le premier signal de référence prédéterminé,
 $Init(f)$ est la transformée de Fourier du signal reçu, et
 $dB(.)$ est l'opération convertissant l'amplitude en décibels.

[0063] Puis, toujours lors de la sous-étape de détermination 114, le dispositif de calibrage 90 effectue avantageusement une détection d'extremum(s) f_{ext}^i dans l'erreur fréquentielle $Err(f)$.

[0064] À cet effet, le dispositif de calibrage 90 calcule par exemple une dérivée de l'erreur fréquentielle $Err(f)$ en fonction de la fréquence et détermine chaque fréquence f_{ext}^i pour laquelle ladite dérivée s'annule.

[0065] Toujours lors de la sous-étape de détermination 114, le dispositif de calibrage 90 calcule de manière préférentielle, pour chaque extremum déterminé f_{ext}^i , une bande de fréquence B_i autour dudit extremum f_{ext}^i . Deux bandes de fréquences successives B_{i-1} , B_i sont contigües. Autrement dit, chaque bande de fréquence B_i comprend une borne inférieure f_1^i et une borne supérieure f_2^i . Aussi, la borne inférieure f_1^i de la bande de fréquence B_i est la borne supérieure f_2^i de la bande de fréquence précédente B_{i-1} .

[0066] La borne inférieure f_1^1 de la première bande de fréquence B_1 est la fréquence minimale pour laquelle l'erreur fréquentielle $Err(f)$ est définie. Puis, la borne supérieure f_2^i de la bande de fréquence B_i est calculée selon l'équation suivante :

[MATH 2]

$$f_2^i = 10^{(\alpha(f_{ext}^i) + (1-\alpha)\log(f_{ext}^{i+1}))}$$

où

$$\alpha = \frac{|Err(f_{ext}^i)|}{|Err(f_{ext}^i)| + |Err(f_{ext}^{i+1})|}$$

[0067] À l'issue du calcul des bandes de fréquences B_i , tout le domaine de fréquence pour lequel l'erreur fréquentielle

Err(f) est définie est découpé en une pluralité de bandes de fréquence B_i . Chaque bande de fréquence B_i contient un extremum f_{ext}^i de l'erreur fréquentielle Err(f).

[0068] Toujours lors de la sous-étape de détermination 114, le dispositif de calibrage 90 détermine par exemple, pour chaque extremum f_{ext}^i , un filtre unitaire paramétrable H_i en fonction de l'erreur fréquentielle Err(f) dans la bande de fréquence B_i associée audit extremum f_{ext}^i .

[0069] Chaque filtre unitaire paramétrable H_i est par exemple un filtre pic ou creux (de l'anglais, Peak-notch) connu en soi. Ce filtre H_i est caractérisé par trois paramètres : une fréquence centrale f_c^i , un gain A^i et un facteur de qualité

Q^i . De manière connue en soi, la fréquence centrale f_c^i correspond à la fréquence pour laquelle le filtre unitaire paramétrable H_i a le gain le plus élevé. Le gain A^i correspond au gain maximal du filtre unitaire paramétrable, par

exemple son gain à la fréquence centrale f_c^i pour un filtre Peak-notch. Le facteur de qualité Q^i quantifie la taille de la bande passante du filtre unitaire paramétrable.

[0070] Puis, le dispositif de calibrage 90 initialise avantageusement les paramètres du filtre unitaire paramétrable H_i et calcule par exemple une erreur fréquentielle modifiée, dans la bande B_i selon l'équation suivante :

[MATH 3]

$$Err(f) = dB(Target(f)) - dB(H_i(f) * Init(f))$$

où / est compris entre f_1^i et f_2^i

[0071] L'équation précédente correspond à l'erreur fréquentielle si le signal reçu était filtré par le filtre unitaire paramétrable H_i .

[0072] Puis, le dispositif de calibrage 90 applique optionnellement un algorithme d'optimisation au paramètre du filtre unitaire paramétrable afin de minimiser une erreur au sens des moindres carrés définie à partir de l'erreur modifiée et qui s'écrit par exemple sous la forme suivante :

[MATH 4]

$$\frac{1}{N} \sqrt{\sum_{f=f_1^i}^{f_2^i} \left(dB(Target(f)) - dB(H_i(f) * Init(f)) \right)^2}$$

où N est le nombre d'échantillons du signal reçu entre les fréquences f_1^i et f_2^i .

[0073] L'algorithme d'optimisation est par exemple un algorithme de descente de gradient.

[0074] Suite à l'application de l'algorithme d'optimisation, le dispositif de calibrage 90 obtient des paramètres optimisés

$f_{c,opt}^i$, A_{opt}^i et Q_{opt}^i du filtre unitaire paramétrable H_i .

[0075] Avantageusement, le dispositif de calibrage 90 détermine ainsi un filtre unitaire paramétrable H_i respectif pour chaque extremum f_{ext}^i , et donc pour chaque bande de fréquence B_i associée.

[0076] Ensuite, le dispositif de calibrage 90 génère le premier filtre de calibrage H_calib_SPK , par exemple à partir de chaque filtre unitaire paramétrable H_i déterminé précédemment, par exemple en mettant en série chacun des filtres unitaires paramétrables H_i .

[0077] La phase de calibrage comprend optionnellement en outre une étape de calibrage PC_FB du microphone nomade interne 20.

[0078] Comme indiqué précédemment, suite à l'émission du premier signal audio par le haut-parleur nomade 15, le microphone nomade interne 20 acquiert le premier signal audio émis.

[0079] L'étape PC_FB de calibrage du microphone nomade interne 20 comprend une deuxième sous-étape de réception 122 lors de laquelle le dispositif de calibrage 90 reçoit le premier signal audio acquis par le microphone interne 20.

[0080] Préférentiellement, l'étape PC_FB de calibrage du microphone interne 20 comprend une sous-étape 123 d'application du premier filtre de calibrage H_calib_SPK au signal reçu depuis le microphone interne 20, pour former un signal filtré.

[0081] L'étape PC_calib_FB comprend une deuxième sous-étape de détermination 124, lors de laquelle le dispositif de calibrage 90 détermine un deuxième filtre de calibrage H_calib_FB à partir du signal filtré. Le deuxième filtre de calibrage H_calib_FB est également un filtre numérique comprenant un gain dont une valeur évolue fréquemment. Le deuxième filtre de calibrage H_calib_FB est propre au microphone nomade interne 20.

[0082] La deuxième sous-étape de détermination 124 est analogue à la première sous-étape de détermination 114 à la différence près que la détermination est effectuée à partir du signal reçu par le microphone nomade interne 20 filtré par la fonction H_calib_SPK et non du signal reçu depuis le microphone de calibrage 80.

[0083] À l'issue de la deuxième sous-étape de détermination 124, le deuxième filtre de calibrage H_calib_FB est déterminé.

[0084] Puis, la phase d'émission comprend une étape PE_calib d'envoi d'un deuxième flux audio à diffuser par le haut-parleur de calibrage 85. Suite à cette étape d'envoi PE_calib, le deuxième signal audio est émis par le haut-parleur de calibrage 85. Lors de cette émission, le deuxième signal audio émis est acquis par le microphone nomade externe 25.

[0085] De manière analogue au premier signal audio, le deuxième signal audio est par exemple un balayage continu sinusoïdal (de l'anglais, *sweep*).

[0086] Puis, la phase de calibrage comprend par exemple une étape PC_FF de calibrage du microphone nomade externe 25.

[0087] L'étape PC_FF de calibrage du microphone nomade externe 25 comprend une troisième sous-étape de réception 132 lors de laquelle le dispositif de calibrage 90 reçoit le signal acquis par le microphone nomade externe 25 suite à l'émission du deuxième signal audio par le haut-parleur de calibrage 85.

[0088] L'étape PC_FF de calibrage du microphone nomade externe 25 comprend en outre une troisième sous-étape de détermination 134 lors de laquelle un troisième filtre de calibrage H_calib_FF est déterminé à partir du signal reçu depuis le microphone nomade externe 25. Le troisième filtre de calibrage H_calib_FF est également un filtre numérique comprenant un gain dont une valeur évolue fréquemment. Le troisième filtre de calibrage H_calib_FF est propre au microphone nomade externe 25.

[0089] La troisième sous-étape de détermination 134 est par exemple analogue à la première sous-étape de détermination 114 et à la deuxième sous-étape de détermination 124, à l'exception du fait que le troisième filtre de calibrage H_calib_FF est déterminé à partir du signal reçu depuis le microphone nomade externe 25 plutôt que du signal reçu depuis le microphone de calibrage 80 ou du microphone nomade interne 20.

[0090] À l'issue de la sous-étape de détermination 134, le troisième filtre de calibrage H_calib_FF est déterminé.

[0091] Le procédé de calibrage comprend en outre une phase d'implémentation PI comportant préférentiellement une première étape d'implémentation 142 lors de laquelle le premier filtre de calibrage H_calib_SPK est implémenté dans le dispositif audio nomade 10, plus précisément sur la première connexion 50 de l'unité de commande 33. Par exemple, le premier filtre de calibrage H_calib_SPK est implémenté entre le sommateur 35 et le bloc 70.

[0092] La phase d'implémentation PI comprend en outre préférentiellement une deuxième étape d'implémentation 144 lors de laquelle le deuxième filtre de calibrage H_calib_FB est implémenté dans le dispositif audio nomade 10, et plus particulièrement sur la deuxième connexion 55 de l'unité de commande 33. Par exemple, le deuxième filtre de calibrage H_calib_FB est implémenté entre le microphone nomade interne 20 et le premier filtre prédéterminé HFB.

[0093] La phase d'implémentation PI comprend en outre préférentiellement une troisième étape d'implémentation lors de laquelle le troisième filtre de calibrage H_calib_FF est implémenté dans le dispositif audio nomade 10, et préférentiellement sur la troisième connexion 60 de l'unité de commande 33. Par exemple, le troisième filtre de calibrage H_calib_FF est implémenté entre le microphone nomade externe 25 et le deuxième filtre prédéterminé HFF.

[0094] À l'issue du procédé de calibrage selon l'invention, le haut-parleur nomade 15, le microphone nomade interne 20, et un microphone nomade externe 25 sont calibrés.

[0095] A l'issue de la phase d'implémentation PI, des valeurs du ou de chaque filtre de calibrage H_calib_SPK, H_calib_FB, H_calib_FF sont stockées dans l'unité de commande 33, et de préférence dans la mémoire 96 de l'unité de commande.

Lorsque le dispositif audio nomade 10 comprend plusieurs chaînes audio CH1, CH2, le procédé de calibrage décrit ci-dessus est itéré pour chaque chaîne audio CH1, CH2.

[0096] Selon une première variante, l'étape d'envoi PE_calib du deuxième signal audio et l'étape de calibrage PC_FF du microphone nomade externe 25 sont mises en oeuvre préalablement à l'étape PE_nomade d'envoi du premier signal audio.

[0097] Selon une deuxième variante non-représentée, le dispositif audio 10, préférentiellement chaque chaîne audio CH1, CH2, comprend une pluralité de microphones nomades externes 25_i. Selon cette deuxième variante, l'unité de commande 33 comprend une pluralité de troisièmes connexions 60_i reliant respectivement un microphone nomade interne 25_i et le sommateur 35. L'unité de commande 33 comprend, sur chacune de ces connexions 60_i, un deuxième

5 filtre prédéterminé respectif HFF_i.
[0098] Selon cette deuxième variante, suite à l'étape PE_calib d'envoi du deuxième signal audio au haut-parleur de calibrage 85, chaque microphone nomade externe 25_i acquiert le deuxième signal audio issu de ladite émission. La phase de calibrage comprend alors, pour chaque microphone nomade externe 25 une étape PC_FF_i de calibrage dudit microphone nomade externe 25 lors de laquelle un troisième filtre H_calib_FF_i respectif du microphone nomade externe 25_i est déterminé.

10 **[0099]** Selon la deuxième variante, la phase d'implémentation comprend, pour chaque microphone nomade externe 25_i, une troisième étape d'implémentation 146_i respective, lors de laquelle le troisième filtre de calibrage H_calibr_FF_i respectif est implémenté sur la connexion 60_i associée audit microphone nomade externe 25_i.

15 **[0100]** Selon une troisième variante par exemple combinable avec l'une des autres variantes, chaque filtre unitaire paramétrable H_i est un filtre passe-bas étagé (de l'anglais Lowshelf) ou un filtre passe-haut étagé (de l'anglais Highshelf). Les paramètres du filtre unitaire paramétrable H_i sont les mêmes que lorsqu'il est du type Peak-notch.

[0101] De manière connue en soit, un filtre Lowshelf ou Highshelf définit une pente respectivement décroissante ou croissante. Chaque filtre unitaire paramétrable H_i de la forme Lowshelf ou Highshelf est paramétré par une fréquence

20 centrale f_c^i , un gain A^i et un facteur de qualité Q^i . De manière connue en soi, la fréquence centrale f_c^i correspond à la fréquence au milieu de la pente du filtre Lowshelf ou Highshelf. Le gain A^i correspond au gain maximal du filtre unitaire paramétrable. Le facteur de qualité Q^i quantifie la raideur de la pente du filtre de type Lowshelf ou Highshelf.

25 **[0102]** Selon une quatrième variante, lors de chaque sous-étape de détermination 114, 124, 134, un pré-découpage en fréquence est réalisé de manière prédéfinie formant une pluralité de portions fréquentielles. La largeur d'une portion fréquentielle étant supérieure à la largeur d'une bande de fréquence B_i. Un nombre maximal de filtres unitaires paramétrables H_i par portion fréquentielle est prédéfini. Lors de la détermination des bandes B_i de fréquence, des bandes B_i sont déterminées jusqu'à ce que le nombre de bande B_i dans une portion fréquentielle atteigne le nombre maximal de filtres unitaires paramétrables H_i de ladite portion.

30 **[0103]** Selon une cinquième variante, seulement un parmi le haut-parleur nomade 15, le microphone interne 20 et microphone externe 25 est calibré. Dans ce cas, la phase d'émission ne comprend qu'une étape d'émission PE_nomade, PE_calib. Dans ce cas, la phase de calibrage ne comprend qu'une étape de calibrage PC_SPK, PC_FB, PC_FF. Ainsi, un unique filtre de calibrage H_calib_SPK, H_calib_FB, H_calib_FF est déterminé et implémenté dans le dispositif audio nomade 10.

35 **[0104]** Il est clair que le procédé pourrait aussi comprendre un ou deux calibrages parmi les trois calibrages présentés ci-dessus.

[0105] Le procédé selon l'invention permet donc d'éviter les problèmes liés à la variance des réponses fréquentielles des composants du dispositif audio par rapport à une réponse fréquentielle nominale. En effet, après application du procédé, le comportement de chaque composant calibré est proche de la réponse fréquentielle nominale fournie par le fabricant pour le modèle dudit composant.

40 **[0106]** En outre, la détermination de filtre(s) de calibrage propre à chacun du haut-parleur nomade 15, du microphone nomade interne 20 et du microphone nomade externe 25 effectivement dans le dispositif audio nomade 10 permet une personnalisation de la correction apportée et donc améliore d'autant plus l'expérience utilisateur.

[0107] En outre, le procédé selon l'invention étant apte à être mis en oeuvre par un produit programme d'ordinateur, il ne requiert aucune intervention humaine. Ce procédé est ainsi rapide et efficace.

45 **[0108]** Dans un mode préféré, grâce à la sous-étape d'application 123, l'étape PC_FB de calibrage du microphone interne 20 s'affranchit de l'erreur que présentait le haut-parleur nomade 15 avant son calibrage. En effet, l'étape d'application 123 a le même effet que si le signal acquis par le microphone interne 20 avait été émis par le haut-parleur nomade 15 calibré. Cette étape accélère le procédé de calibrage puisque qu'elle permet de n'effectuer qu'une seule émission par le haut-parleur nomade 15 pour calibrer à la fois ledit haut-parleur nomade 15 et le microphone interne 20.

Revendications

- 55 1. Procédé de calibrage d'un dispositif audio nomade (10), tel qu'un casque ou une paire d'écouteurs, comprenant au moins un microphone nomade (20, 25) et un haut-parleur nomade (15), le dispositif audio nomade (10) étant disposé dans un caisson (95) comprenant un système de calibrage (75),
le système de calibrage (75) comportant un microphone de calibrage (80), un haut-parleur de calibrage (85), et un

dispositif électronique de calibrage (90) propre à être connecté au microphone de calibrage (80) et au haut-parleur de calibrage (85), le procédé étant mis en oeuvre par le dispositif électronique de calibrage (90) et comprenant :

- 5 - au moins une phase d'émission lors de laquelle un signal audio est envoyé à l'un parmi le haut-parleur nomade (15) et le haut-parleur de calibrage (85), le signal audio étant émis par ledit haut-parleur (15 ; 85),
 - une phase de calibrage lors de laquelle au moins un parmi l'au moins un microphone nomade (20, 25) et le haut-parleur nomade (15) est calibré, la phase de calibrage comportant :

10 - une réception (112 ; 122 ; 132), depuis l'un parmi l'au moins un microphone nomade (20, 25) et le microphone de calibrage (80), d'un signal résultant de l'acquisition par ledit microphone (20, 25 ; 80) du signal audio émis,
 - une détermination (114 ; 124 ; 134) d'un filtre de calibrage (H_calib_SPK ; H_calib_FB ; H_calib_FF), à partir du signal reçu lors de la réception (112 ; 122 ; 132), le filtre de calibrage (H_calib_SPK ; H_calib_FB ; H_calib_FF) étant un filtre numérique comprenant un gain dont une valeur varie fréquemment,
15 le filtre de calibrage (H_calib_SPK ; H_calib_FB ; H_calib_FF) étant :

 - soit propre à l'au moins un microphone nomade (20, 25) et configuré pour filtrer tout signal acquis par ledit microphone nomade (20, 25),
 - soit propre au haut-parleur nomade (15) et configuré pour filtrer tout signal destiné à être émis par
20 ledit haut-parleur nomade (15),

 - une phase d'implémentation (PI), dans le dispositif audio nomade (10), du filtre de calibrage (H_calib_SPK ; H_calib_FB ; H_calib_FF) déterminé lors de la phase de calibrage.

25 **2.** Procédé selon la revendication 1, dans lequel la phase d'émission comprend une étape d'émission (PE_nomade) par le haut-parleur nomade (15) lors de laquelle un signal audio est envoyé au haut-parleur nomade (15) pour son émission par ledit haut-parleur nomade (15),

 la phase de calibrage comprenant une étape (PC_SPK) de calibrage du haut-parleur nomade (15),
30 lors de la réception (112) de ladite étape de calibrage (PC_SPK), le signal audio est reçu depuis le microphone de calibrage (80),
 lors de la détermination (114) de ladite étape de calibrage (PC_SPK), le filtre de calibrage (H_calib_SPK) déterminé est propre au haut-parleur nomade (15), et dit filtre de calibrage du haut-parleur (H_calib_SPK).

35 **3.** Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le dispositif audio nomade (10) comprend deux microphones nomades (20, 25), les deux microphones nomades (20, 25) comportant un microphone nomade interne (20) orienté vers le haut-parleur nomade (30), et un microphone nomade externe (25) orienté vers un extérieur du dispositif audio nomade (10).

40 **4.** Procédé selon les revendications 2 et 3, dans lequel la phase de calibrage comprend en outre une étape (PC_FB) de calibrage du microphone nomade interne (20),

 lors de la réception (122) de l'étape (PC_FB) de calibrage du microphone nomade interne (20), le signal audio est reçu depuis le microphone nomade interne (20),
45 lors de la détermination (124) de l'étape (PC_FB) de calibrage du microphone nomade interne (20), le filtre de calibrage (H_calib_FB) déterminé est propre au microphone nomade interne (20), et dit filtre de calibrage du microphone interne (H_calib_FB).

50 **5.** Procédé selon la revendication 4, dans lequel l'étape (PC_FB) de calibrage du microphone nomade interne (20) comprend en outre :

 - une application (123) du filtre de calibrage du haut-parleur (H_calib_SPK) au signal reçu lors de la réception (122) de l'étape (PC_FB) de calibrage du microphone nomade interne (20), pour former un signal filtré,

55 lors de l'étape de détermination (124) de la phase de calibrage du microphone nomade interne (PC_FB), le filtre de calibrage du microphone interne (H-calib_FB) est déterminé en fonction du signal filtré.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, dans lequel la phase d'émission comprend une étape

d'émission (PE_calib) par le haut-parleur de calibrage (85), lors de laquelle un signal audio est envoyé au haut-parleur de calibrage (85) pour son émission par ledit haut-parleur de calibrage (85),

la phase de calibrage comprenant une étape (PC_FF) de calibrage du microphone nomade externe (25), lors de la réception (132) de l'étape (PC_FF) de calibrage du microphone nomade externe (25), le signal audio est reçu depuis le microphone nomade externe (25), lors de la détermination (134) de l'étape (PC_FF) de calibrage du microphone nomade externe (25), le filtre de calibrage (H_calib_FF) déterminé est propre au microphone nomade externe (25), et dit filtre de calibrage du microphone externe (H_calib_FF).

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, dans lequel le dispositif audio nomade (10) comprend en outre une unité de commande comportant un sommateur (35), une première connexion (50) reliant le sommateur (35) au haut-parleur nomade (15), une deuxième connexion (55) reliant le microphone nomade interne (20) au sommateur (35), et une troisième connexion (60) reliant le microphone nomade externe (25) au sommateur (35),

le dispositif audio nomade (10) comprenant en outre, un premier filtre prédéterminé (HFB) sur la deuxième connexion (55), un deuxième filtre prédéterminé (HFF) sur la troisième connexion (60), lors de la phase d'implémentation (PI), le ou au moins l'un des filtres de calibrage (H_calib_SPK ; H_calib_FB ; H_calib_FF) étant implémenté sur l'une des première (50), deuxième (55) et troisième (60) connexions.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la ou chaque sous-étape de détermination (114, 124, 134) comprend :

- un calcul d'une erreur fréquentielle (Err(f)) entre le signal reçu correspondant et un signal de référence prédéterminé,

- une détection d'extremum(s) (f_{ext}^i) de l'erreur fréquentielle (Err(f)),

- pour au moins un extremum détecté (f_{ext}^i) :

- un calcul d'une bande de fréquence (B_i) autour de l'extremum,

- une détermination d'un filtre unitaire paramétrable (H_i) en fonction de l'erreur fréquentielle (Err(f)) dans la bande de fréquence (B_i),

- une génération du filtre de calibrage (H_calib_SPK ; H_calib_FB ; H_calib_FF) à partir du ou de chaque filtre unitaire paramétrable,

chaque filtre unitaire paramétrable (H_i) comportant de préférence les paramètres réglables suivants : une fréquence centrale (f_c^i), un gain maximal (A^i), et un facteur qualité (Q^i),

de préférence, chaque filtre unitaire paramétrable (H_i) comportant en outre un type de filtre choisis dans un groupe consistant en : un filtre pic ou creux, un filtre passe-bas étagé, et un filtre passe-haut étagé.

9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel pour chaque extremum détecté (f_{ext}^i) lors du calcul de la bande de fréquence (B_i), chaque bande de fréquence (B_i) est délimitée par une borne inférieure (f_1^i) et une borne supérieure (f_2^i),

la borne inférieure (f_1^i) de la bande de fréquence (B_i) étant la borne supérieure (f_2^{i-1}) de la bande de fréquence précédente (B_{i-1}),

la borne supérieure (f_2^i) de la bande de fréquence (B_i) étant calculée selon l'équation suivante :

$$f_2^i = 10^{(\alpha \log(f_{ext}^i) + (1-\alpha) \log(f_{ext}^{i+1}))}$$

où

- f_{ext}^i est la fréquence de l'extremum détecté dans ladite bande de fréquence (B_i),
- f_{ext}^{i+1} est la fréquence de l'extremum détecté dans ladite bande de fréquence suivante (B_{i+1}),

$$\alpha = \frac{|Err(f_{ext}^i)|}{|Err(f_{ext}^i)| + |Err(f_{ext}^{i+1})|},$$

- $|Err(f_{ext}^i)|$ est la norme de l'erreur évaluée à la fréquence de l'extremum détecté dans ladite bande de fréquence (B_i), et

- $|Err(f_{ext}^{i+1})|$ est la norme de l'erreur évaluée à la fréquence de l'extremum détecté dans la bande de fréquence suivante (B_{i+1}).

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le dispositif audio nomade (10) comprend au moins deux chaînes audio (CH1, CH2), chaque chaîne audio (CH1, CH2) comportant au moins un microphone nomade (20, 25) respectif et un haut-parleur nomade (15) respectif, les étapes du procédé de calibrage étant itérées pour chaque chaîne audio (CH1, CH2).
11. Produit programme d'ordinateur comprenant des instructions logicielles, qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, mettent en oeuvre le procédé de calibrage selon l'une quelconque des revendications précédentes.
12. Système de calibrage (75) d'un dispositif audio nomade (10), tel qu'un casque ou une paire d'écouteur, le dispositif audio nomade (10) comprenant au moins un microphone nomade (20, 25), un haut-parleur nomade (15), le dispositif audio nomade (10) étant propre à être placé dans le système de calibrage (75), le système de calibrage (75) comprenant un microphone de calibrage (80), un haut-parleur de calibrage (85), et un dispositif électronique de calibrage (95) propre à exécuter des instructions logicielles d'un produit programme d'ordinateur selon la revendication précédente.

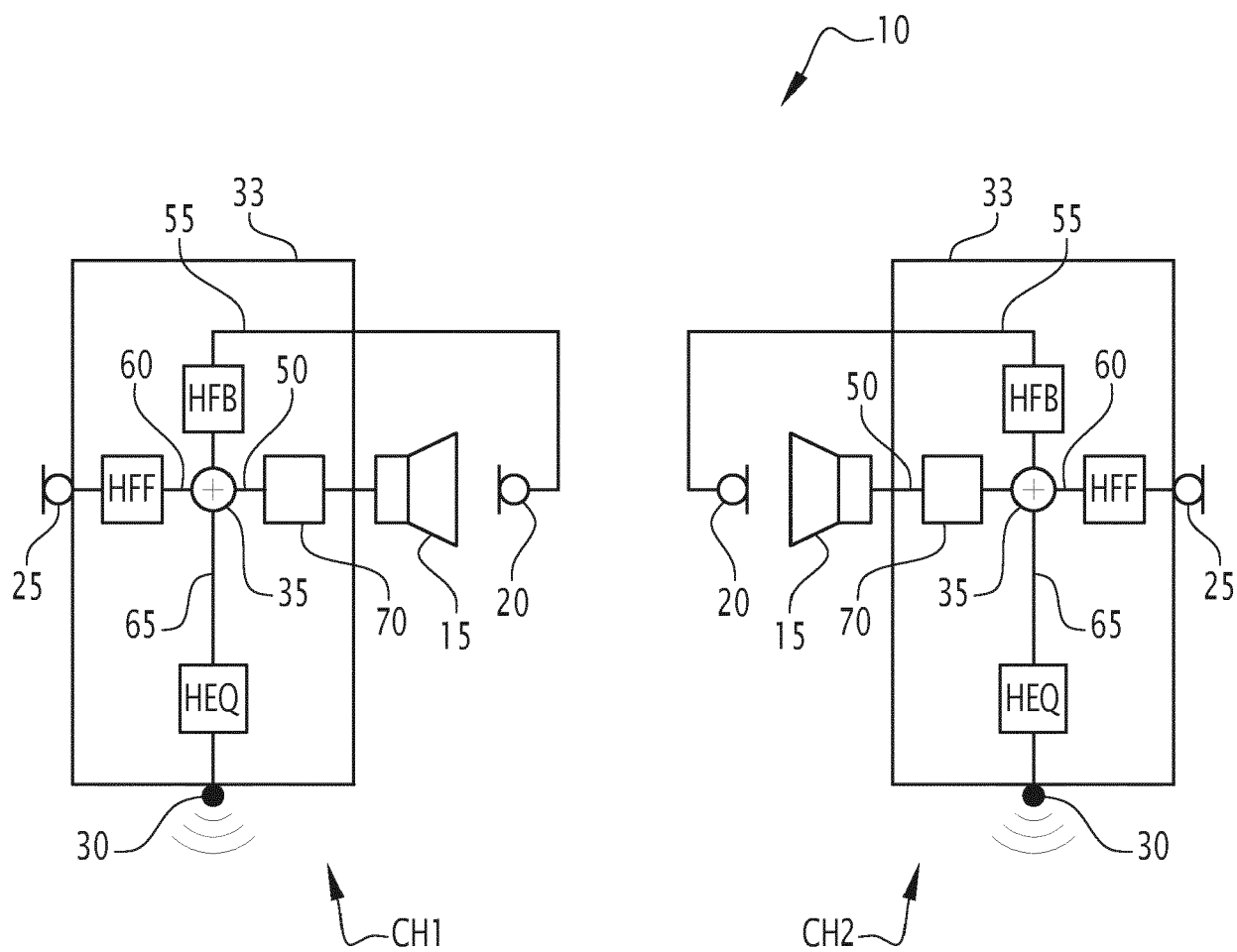


FIG.1

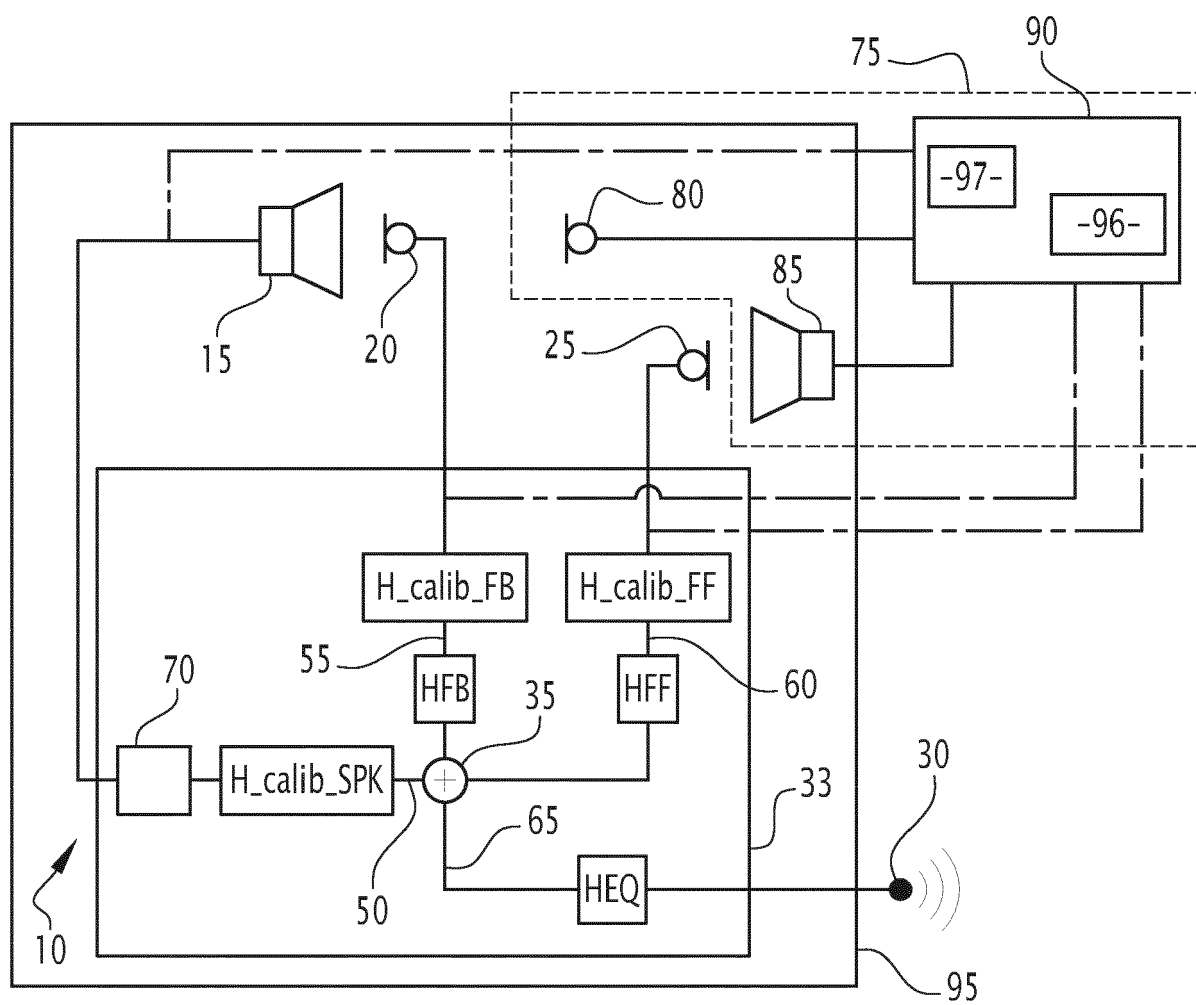


FIG.2

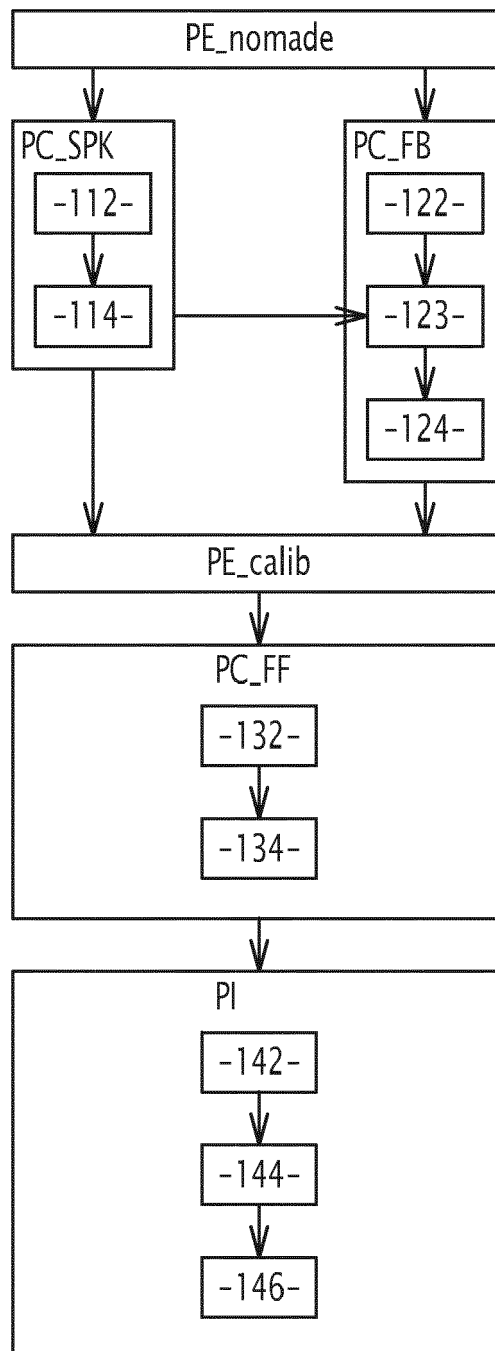


FIG.3



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 23 18 9296

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 2021/127221 A1 (KANNAN GOVIND [US] ET AL) 29 avril 2021 (2021-04-29) * alinéa [0024] - alinéa [0025] * * alinéa [0028] * * alinéa [0050] * * alinéa [0052] * * alinéa [0054] - alinéa [0055] * * figures 1,2,5B, 6B, 7A, 8A *	1-12	INV. H04R29/00 ADD. H04R5/033 H04R1/10
X	US 2020/005759 A1 (ALDERSON JEFFREY [US] ET AL) 2 janvier 2020 (2020-01-02) * alinéa [0018] - alinéa [0020] * * alinéa [0022] * * alinéa [0027] - alinéa [0031] * * alinéa [0051] * * alinéa [0053] - alinéa [0056] * * figures 1B, 4, 6A, 6B *	1,11,12	
A		5	
A	US 2017/110106 A1 (KUMAR AMIT [US] ET AL) 20 avril 2017 (2017-04-20) * alinéas [0005], [0022], [0047] - [0051]; figure 2 *	5	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H04R G10K
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		27 novembre 2023	Carrière, Olivier
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03:82 (P04C02)

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

EP 23 18 9296

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.

27-11-2023

10	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
15	US 2021127221 A1	29-04-2021	CN 114586380 A	03-06-2022
			EP 4049465 A1	31-08-2022
			JP 2022553093 A	21-12-2022
			KR 20220062600 A	17-05-2022
			TW 202118307 A	01-05-2021
			US 2021127221 A1	29-04-2021
			WO 2021081535 A1	29-04-2021

20	US 2020005759 A1	02-01-2020	CN 111902861 A	06-11-2020
			US 2020005759 A1	02-01-2020
			WO 2019152729 A1	08-08-2019

25	US 2017110106 A1	20-04-2017	TW 201719636 A	01-06-2017
			TW 202209305 A	01-03-2022
			US 2017110106 A1	20-04-2017
			US 2017301336 A1	19-10-2017
			US 2019019491 A1	17-01-2019
			WO 2017066708 A2	20-04-2017

30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0460

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