



(11)

EP 3 111 667 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

11.04.2018 Bulletin 2018/15

(51) Int Cl.:

H04R 3/04 (2006.01)

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/EP2015/052199

(21) Numéro de dépôt: **15703951.2**

(22) Date de dépôt: **03.02.2015**

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2015/128160 (03.09.2015 Gazette 2015/35)

(54) **PROCEDE ET SYSTEME D'EGALISATION ACOUSTIQUE AUTOMATISE**

VERFAHREN UND SYSTEM ZUR AUTOMATISCHEN AKUSTISCHEN ENTZERRUNG

METHOD AND SYSTEM FOR AUTOMATIC ACOUSTIC EQUALISATION

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

• **DEVALLEZ, Delphine**

F-92100 Boulogne-Billancourt (FR)

(30) Priorité: **25.02.2014 FR 1451504**

(74) Mandataire: **Ipside**

7-9 Allées Haussmann

33300 Bordeaux Cedex (FR)

(43) Date de publication de la demande:

04.01.2017 Bulletin 2017/01

(56) Documents cités:

JP-A- 2008 224 816 US-A1- 2007 025 559

(73) Titulaire: **Arkamys**

75017 Paris (FR)

• **RAMOS GERMÃO NET AL: "Filter Design Method**

for Loudspeaker Equalization Based on IIR

Parametric Filters", JAES, AES, 60 EAST 42ND

STREET, ROOM 2520 NEW YORK 10165-2520,

USA, vol. 54, no. 12, 1 décembre 2006

(2006-12-01), pages 1162-1178, XP040507981,

(72) Inventeurs:

• **AMADU, Frédéric**

F-77500 Chelles (FR)

EP 3 111 667 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description**Domaine de l'invention**

5 **[0001]** La présente invention se rapporte au domaine du traitement du signal sonore.

[0002] La présente invention se rapporte plus particulièrement à un procédé et à un système d'égalisation acoustique automatisé.

[0003] Un cas d'usage de la présente invention est le suivant : dans le domaine de l'automobile : on place une pluralité de microphones dans un véhicule et on diffuse des séquences sonores pré-calibrées dans les haut-parleurs du véhicule.

10 Un système compare les signaux sonores émis et les signaux sonores reçus et enregistrés. On en déduit « la signature acoustique » de l'habitacle du véhicule. L'utilisateur définit ensuite une courbe de signature acoustique cible, qui est différente de la signature acoustique native du véhicule. Un second algorithme calcule des coefficients de filtres numériques de manière à ce que, lorsqu'on applique ces filtres avant diffusion de signaux sonores dans les haut-parleurs du véhicule, la signature acoustique du véhicule devienne la courbe de signature sonore cible, et non la signature acoustique native du véhicule.

15 **[0004]** Dans le cadre de la présente invention, on utilise des filtres « IIR » ou « *Infinite Impulse Response* » en terminologie anglo-saxonne.

[0005] Plus particulièrement, on utilise dans le cadre de la présente invention des filtres dits « *Biquad* », d'ordre deux.

20 **[0006]** Le procédé et le système selon la présente invention concernent l'égalisation de l'amplitude de la réponse fréquentielle de l'habitacle.

Etat de la technique

25 **[0007]** Le document US2007/0025559 décrit un système d'égalisation acoustique automatisé comportant les caractéristiques du préambule des revendications indépendantes 1 et 7. On connaît dans l'état de la technique la demande de brevet français N° FR 2 967 848 (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), qui se rapporte à un système de correction de spectre destiné notamment à une salle de spectacle. Cette demande de brevet de l'art antérieur décrit un système électroacoustique comportant une pluralité de cellules. Dans ces cellules sont prévus : un dispositif d'égalisation, un émetteur, un récepteur, un circuit d'amplification pour amplifier les signaux issus du récepteur vers ledit émetteur et un organe de calcul qui va agir, entre autres, sur le dispositif d'égalisation. Cette solution technique de l'art antérieur se propose de mesurer la réponse émetteur, salle de spectacle observée au niveau du récepteur en utilisant, notamment, un signal de mesure fourni par un générateur de bruit ou toute autre méthode de mesure permettant d'observer la réponse du système en boucle ouverte. Le dispositif d'égalisation oeuvre pour que ladite réponse se rapproche le plus d'une réponse désirée. Cette solution technique de l'art antérieur a pour application la modification des propriétés acoustiques de salles de spectacle.

30 **[0008]** L'art antérieur connaît également, par le brevet américain N° US 6 721 428 B1 (Texas Instruments), un égaliseur automatique de haut-parleurs. Ce brevet américain de l'art antérieur se rapporte plus particulièrement à un procédé pour générer des filtres numériques pour égaliser un haut-parleur. Des premières données numériques sont fournies, pour un intervalle de tolérance pour une courbe de réponse cible de signal sonore en fonction de la fréquence pour le haut-parleur. Des secondes données numériques sont générées, pour une courbe de réponse réelle du signal sonore en fonction de la fréquence pour le haut-parleur. Les premières données numériques sont comparées avec les secondes données numériques, et il est déterminé si la courbe de réponse réelle est dans l'intervalle de tolérance. Si la courbe de réponse réelle n'est pas dans l'intervalle de tolérance, des filtres audio numériques sont générés de façon itérative, et les filtres audio numériques sont appliqués aux secondes données numériques pour générer des troisièmes données numériques pour une courbe de réponse compensée. La fréquence, le gain et la bande passante des filtres audio numériques sont optimisés de façon automatique jusqu'à ce que la courbe de réponse compensée soit dans l'intervalle de tolérance ou une limite prédéterminée du nombre de filtres audio numériques ait été atteinte, celle des deux ayant lieu en premier.

45 **[0009]** On connaît également dans l'état de la technique la publication scientifique « Filter Design Method for Loudspeaker Equalization Based on IIR Parametric Filters » de German Ramos et Jose J. Lopez.

Exposé de l'invention

55 **[0010]** La présente invention propose un procédé permettant de fournir une égalisation d'un signal en déterminant des paramètres de filtres permettant de réduire l'écart entre l'amplitude d'une réponse fréquentielle représentant la signature acoustique d'un ensemble de haut-parleurs dans leur environnement et une courbe de signature sonore cible.

[0011] A cet effet, la présente invention concerne, dans son acception la plus générale, un procédé d'égalisation acoustique automatisé, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- Mesure de N réponses impulsionnelles $RI_1, RI_2, \dots, RI_N$ après émission d'un signal sonore précalibré reçu par N microphones ;
- Calcul des N réponses fréquentielles correspondantes par Transformée de Fourier rapide ;
- Etablissement d'une moyenne M des N réponses fréquentielles ;
- Traduction en échelle fréquentielle logarithmique de ladite moyenne M des N réponses fréquentielles ;
- Interpolation d'une courbe de signature sonore cible C_{ec} à partir d'un certain nombre de points choisis par un utilisateur ;
- Traduction en échelle fréquentielle logarithmique de ladite courbe de signature sonore cible C_{ec} ;
- Comparaison de ladite réponse moyennée M et de ladite réponse cible C_{ec} , en calculant la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse de signature sonore cible C_{ec} ;
- Analyse de la courbe C_{diff} résultant de la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} ; et
- Détermination de paramètres de filtres pour la réduction de la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} en traitant tout d'abord les maxima locaux par ordre décroissant suivant leur gain, puis les minima locaux, et en réalisant des itérations successives ;

ledit procédé comportant en outre une étape d'optimisation des paramètres des filtres afin d'améliorer la performance du système.

[0012] Ainsi, le procédé selon la présente invention permet d'obtenir une égalisation acoustique automatisée grâce à un calcul précis et optimisé de paramètres de filtres.

[0013] De préférence, l'étape d'interpolation de la courbe de signature sonore cible est réalisée au moyen de la méthode d'Hermite.

[0014] Avantageusement, ledit procédé comporte en outre une étape d'optimisation automatique de l'offset de la réponse cible C_{ec} , répétée à chaque itération.

[0015] Avantageusement, ledit procédé comporte en outre une étape de lissage des N réponses fréquentielles.

[0016] De préférence, ledit procédé met en oeuvre des filtres correspondants aux types suivants: « *peak* », « *notch* » « *high-shelf* » et « *low-shelf* » en fonction de la forme des maxima locaux et des minima locaux.

[0017] Selon un mode de mise en oeuvre particulier, ledit procédé met en outre en oeuvre un algorithme d'optimisation globale pour minimiser l'erreur.

[0018] La présente invention se rapporte également à un système d'égalisation acoustique automatisé, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour :

- mesurer N réponses impulsionnelles $RI_1, RI_2, \dots, RI_N$ après émission d'un signal sonore précalibré reçu par N microphones ;
- calculer les N réponses fréquentielles correspondantes par Transformée de Fourier rapide ;
- établir une moyenne M des N réponses fréquentielles ;
- traduire en échelle fréquentielle logarithmique ladite moyenne M des N réponses fréquentielles ;
- interpoler une courbe cible C_{ec} à partir d'un certain nombre de points définis par un utilisateur ;
- traduire en échelle fréquentielle logarithmique ladite courbe cible C_{ec} ;
- comparer ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} , en calculant la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} ;
- analyser la courbe C_{diff} résultant de la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} ; et
- déterminer des paramètres de filtres pour la réduction de la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} en traitant tout d'abord les maxima locaux par ordre décroissant suivant leur gain, puis les minima locaux, et en réalisant des itérations successives ;

ledit procédé comportant en outre des moyens pour optimiser des paramètres des filtres afin d'améliorer la performance du système.

Breve description des dessins

[0019] On comprendra mieux l'invention à l'aide de la description, faite ci-après à titre purement explicatif, d'un mode de réalisation de l'invention, en référence aux Figures dans lesquelles :

- la Figure 1 illustre les différentes étapes du procédé selon la présente invention ;
- la Figure 2 représente la courbe de signature sonore cible C_{ec} au sens de la présente invention, les réponses fréquentielles dérivées des N mesures de réponses impulsionnelles, ainsi que la moyenne M ; et
- la Figure 3 illustre la détection et le classement des maxima locaux (« pics ») et des minima locaux (« creux »).

Description détaillée des modes de réalisation de l'invention

[0020] La Figure 1 illustre les différentes étapes du procédé selon la présente invention.

[0021] Le procédé d'égalisation acoustique automatisé conforme à la présente invention comporte les étapes suivantes :

Dans un premier temps, on mesure N réponses impulsionnelles $RI_1, RI_2, \dots, RI_N$ après émission d'un signal sonore précalibré reçu par N microphones.

[0022] Ensuite on calcule les N réponses fréquentielles correspondantes par Transformée de Fourier rapide.

[0023] Ensuite, on établit une moyenne M des N réponses fréquentielles calculées.

[0024] Une traduction en échelle fréquentielle logarithmique de ladite moyenne M des N réponses fréquentielles -est effectuée.

[0025] Une courbe de signature sonore cible C_{ec} est interpolée, puis est traduite en échelle fréquentielle logarithmique.

[0026] Ensuite, on compare la réponse moyennée M et la réponse de signature sonore cible C_{ec} , en calculant la différence entre la réponse moyennée M et la réponse cible C_{ec} .

[0027] La courbe C_{diff} résultant de la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} est analysée.

[0028] Enfin, on détermine des paramètres de filtres pour la réduction de la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} en traitant tout d'abord les maxima locaux par ordre décroissant suivant leur gain, puis les minima locaux, et en réalisant des itérations successives.

[0029] Le procédé selon la présente invention comporte en outre une étape d'optimisation des paramètres des filtres afin d'améliorer la performance du système.

[0030] Les réponses fréquentielles peuvent être moyennées de façon « standard » (c'est-à-dire avec des poids identiques), ou bien avec des poids différents.

[0031] La Figure 2 représente la courbe de signature sonore cible C_{ec} au sens de la présente invention, les réponses fréquentielles dérivées des N mesures de réponses impulsionnelles, ainsi que la moyenne M. Dans le cadre de la présente invention, on procède à une comparaison de la réponse moyennée M et de la réponse cible C_{ec} , en calculant la différence entre la réponse moyennée M et la réponse cible C_{ec} .

[0032] La Figure 3 illustre la détection et le classement des maxima locaux (« pics ») et des minima locaux (« creux »). Conformément à la présente invention, on traite tout d'abord les maxima locaux (pics) par ordre décroissant suivant leur gain, puis on traite les minima locaux (creux) par ordre croissant. Ceci permet de déterminer des paramètres de filtres pour la réduction de la différence entre la réponse moyennée M et la réponse cible C_{ec} . Des itérations successives sont réalisées.

[0033] Il a été démontré dans des études scientifiques qu'il est préférable d'égaliser d'abord les pics, puis ensuite les creux. En effet, l'oreille humaine est plus sensible aux pics qu'aux creux.

[0034] Dans un mode de réalisation, l'optimisation de l'offset de la courbe cible est réalisée comme suit :

La courbe cible et la réponse fréquentielle moyenne sont recalculées sur une échelle logarithmique afin d'approximer la résolution non uniforme du système auditif. Ceci est réalisé par une fonction de lissage qui rééchantillonne la réponse fréquentielle sur une échelle logarithmique avec par exemple une résolution fréquentielle de 1/48 octave.

i) La bande de fréquence d'optimisation « *FreqRange* » est appliquée comme un vecteur de poids *FreqWeight* qui vaut 0 en dehors de la bande de fréquence et 1 à l'intérieur de la bande de fréquence.

ii) La valeur initiale de l'offset « *Offset* » (en dB) est calculée comme la valeur moyenne de la réponse fréquentielle moyenne dans la bande de fréquence d'égalisation :

$$Offset = mean(C_{ec}(n_i:n_f))$$

où n_i et n_f sont respectivement le premier et le dernier des points de fréquence de la bande de fréquence logarithmique d'égalisation.

iii) L'algorithme d'optimisation consiste à trouver l'offset optimal, *Offset*, qui minimise l'erreur entre M et C_{ec} ($=Shape+Offset$), définie comme suit :

$$e_{mean} = \frac{1}{n_f - n_i + 1} \sum_{k=n_i}^{n_f} |M(f_k) - C_{ec}(f_k)|$$

Avec $C_{ec} = \text{Offset} + \text{Shape}$

Ceci est réalisé avec l'algorithme d'optimisation, qui calcule de façon itérative l'erreur e_{mean} , et recherche l'offset optimal dans un intervalle de +/- 100 dB autour de la valeur initiale. En plus de la minimisation de l'erreur e_{mean} , une contrainte est ajoutée au problème d'optimisation, afin de limiter le gain des pics à G_{max} en dB. Il est défini comme suit :

$$\max_{n_i \leq k \leq n_f} |M(f_k) - C_{ec}(f_k)| \leq G_{max}$$

[0035] Les paramètres et le nombre des filtres sont optimisés au moyen d'un algorithme. Les paramètres f , Q et G (respectivement fréquence centrale, facteur de qualité et gain des filtres bi-quads) sont optimisés à partir d'intervalles de valeurs qui peuvent être prédéfinis par un utilisateur, et les plages de valeurs de Q et G peuvent dépendre de la fréquence. Ainsi, par exemple dans les hautes fréquences, les filtres de faible gain sont plus facilement éliminés car ils ne sont pas perceptibles.

[0036] Dans un mode de réalisation, l'objectif est de trouver les paramètres optimaux ($f_{c_{opt}}$, G_{opt} , Q_{opt}) d'un filtre et l'offset optimal de la courbe cible $Offset_{opt}$. Les limites des paramètres sont déterminées comme ceci :

$$\max\left(\frac{f_c}{2^{\frac{1}{12}}}, FreqRange(1)\right) \leq f_{c_{opt}} \leq \min\left(f_c \times 2^{\frac{1}{12}}, FreqRange(2)\right)$$

$$-G \times 0.9 \leq G_{opt} \leq G \times 1.1 \text{ si } G \leq 0 \text{ et } -G \times 1.1 \leq G_{opt} \leq G \times 0.9 \text{ si } G > 0$$

$$QRange(1) \leq Q_{opt} \leq QRange(2)$$

$$TargetGain - 100 \leq TargetGain_{opt} \leq TargetGain + 100$$

où f_c et G sont respectivement la fréquence centrale et le gain d'un filtre bi-quad modélisant le nième pic, et $QRange$ est la plage de valeurs admissibles du facteur de qualité Q .

[0037] Un processus de post-optimisation est réalisé. Ce processus de post-optimisation consiste à reclasser les filtres par fréquence croissante et à réoptimiser les coefficients. Si un filtre est annulé lors de ce processus, un nouveau pic/creux est recherché afin d'avoir en sortie le nombre maximum de filtres. Le processus d'optimisation est mis en oeuvre jusqu'à ce que le nombre maximum de filtres soit atteint.

[0038] Dans un mode de réalisation, l'étape d'interpolation de la courbe cible est réalisée au moyen de la méthode d'Hermite.

[0039] Dans un mode de réalisation, le procédé selon la présente invention comporte en outre une étape d'optimisation automatique de l'offset de la réponse cible C_{ec} , répétée à chaque itération.

[0040] Dans un mode de réalisation, le procédé selon la présente invention comporte en outre une étape de lissage des N réponses fréquentielles.

[0041] Dans le cadre du procédé selon la présente invention, on met en oeuvre des filtres correspondants aux types suivants : « peak », « notch », « high-shelf » et « low-shelf » en fonction de la forme des maxima locaux (pics) et des minima locaux (creux).

[0042] Dans certains cas, il est préférable de choisir un filtre de type « peak ». Dans d'autres cas, il est préférable de choisir un filtre de type « shelf ». La sélection du filtre est effectuée en fonction du dépassement ou non d'un certain seuil par le facteur de qualité.

[0043] Dans un mode de réalisation, le procédé selon la présente invention met en outre en oeuvre un algorithme

d'optimisation globale pour minimiser l'erreur.

[0044] La présente invention se rapporte également à un système d'égalisation acoustique automatisé, comportant des moyens pour :

- 5 • mesurer N réponses impulsionnelles $RI_1, RI_2, \dots, RI_N$ après émission d'un signal sonore précalibré reçu par N microphones ;
- calculer les N réponses fréquentielles correspondantes par Transformée de Fourier rapide ;
- établir une moyenne M des N réponses fréquentielles ;
- traduire en échelle fréquentielle logarithmique ladite moyenne M des N réponses fréquentielles ;
- 10 • interpoler une courbe cible C_{ec} à partir d'un certain nombre de points définis par un utilisateur ;
- traduire en échelle fréquentielle logarithmique ladite courbe cible C_{ec} ;
- comparer ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} , en calculant la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} ;
- analyser la courbe C_{diff} résultant de la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} ; et
- 15 • déterminer des paramètres de filtres pour la réduction de la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} en traitant tout d'abord les maxima locaux par ordre décroissant suivant leur gain, puis les minima locaux, et en réalisant des itérations successives ;

ledit système comportant en outre des moyens pour optimiser des paramètres des filtres afin d'améliorer la performance du système.

[0045] L'invention est décrite dans ce qui précède à titre d'exemple. Il est entendu que l'homme du métier est à même de réaliser différentes variantes de l'invention sans pour autant sortir du cadre du brevet.

25 Revendications

1. Procédé d'égalisation acoustique automatisé, comportant les étapes suivantes :

- 30 • Mesure de N réponses impulsionnelles $RI_1, RI_2, \dots, RI_N$ après émission d'un signal sonore précalibré reçu par N microphones ;
- Calcul des N réponses fréquentielles correspondantes par Transformée de Fourier rapide ;
- Etablissement d'une moyenne M des N réponses fréquentielles ;
- Traduction en échelle fréquentielle logarithmique de ladite moyenne M des N réponses fréquentielles ;
- 35 • Interpolation d'une courbe de signature sonore cible C_{ec} à partir d'un certain nombre de points choisis par un utilisateur ;
- Traduction en échelle fréquentielle logarithmique de ladite courbe de signature sonore cible C_{ec} ;
- Comparaison de ladite réponse moyennée M et de ladite réponse cible C_{ec} , en calculant la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse de signature sonore cible C_{ec} ;
- Analyse de la courbe C_{diff} résultant de la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} ; et **caractérisé en ce qu'il** comporte l'étape suivante:
- 40 • Détermination de paramètres de filtres pour la réduction de la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} en traitant tout d'abord les maxima locaux par ordre décroissant suivant leur gain, puis les minima locaux, et en réalisant des itérations successives ;

45 ledit procédé comportant en outre une étape d'optimisation des paramètres des filtres afin d'améliorer la performance du système.

- 50 2. Procédé d'égalisation acoustique automatisé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'étape d'interpolation de la courbe de signature sonore cible est réalisée au moyen de la méthode d'Hermite.
3. Procédé d'égalisation acoustique automatisé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre une étape d'optimisation automatique de l'offset de la réponse cible C_{ec} , répétée à chaque itération.
- 55 4. Procédé d'égalisation acoustique automatisé selon la revendication 1, 2 ou 3, **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre une étape de lissage des N réponses fréquentielles.
5. Procédé d'égalisation acoustique automatisé selon l'une au moins des revendications précédentes, **caractérisé**

en ce qu'il met en oeuvre des filtres correspondants aux types suivants : « *peak* », « *notch* » « *high-shelf* » et « *low-shelf* » en fonction de la forme des maxima locaux et des minima locaux.

6. Procédé d'égalisation acoustique automatisé selon l'une au moins des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il met en outre en oeuvre un algorithme d'optimisation globale pour minimiser l'erreur.**

7. Système d'égalisation acoustique automatisé, comportant des moyens pour :

- mesurer N réponses impulsionnelles $RI_1, RI_2, \dots, RI_N$ après émission d'un signal sonore précalibré reçu par N microphones ;
- calculer les N réponses fréquentielles correspondantes par Transformée de Fourier rapide ;
- établir une moyenne M des N réponses fréquentielles ;
- traduire en échelle fréquentielle logarithmique ladite moyenne M des N réponses fréquentielles ;
- interpoler une courbe cible C_{ec} à partir d'un certain nombre de points définis par un utilisateur ;
- traduire en échelle fréquentielle logarithmique ladite courbe cible C_{ec} ;
- comparer ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} , en calculant la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} ;
- analyser la courbe C_{diff} résultant de la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} ; et **caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour**
- déterminer des paramètres de filtres pour la réduction de la différence entre ladite réponse moyennée M et ladite réponse cible C_{ec} en traitant tout d'abord les maxima locaux par ordre décroissant suivant leur gain, puis les minima locaux, et en réalisant des itérations successives ;

ledit système comportant en outre des moyens pour optimiser des paramètres des filtres afin d'améliorer la performance du système.

Patentansprüche

1. Verfahren für automatisierten akustischen Abgleich, das die folgenden Schritte umfasst:

- Messen von N Impulsantworten $RI_1, RI_2, \dots, RI_N$ nach dem Aussenden eines im Voraus kalibrierten Tonsignals, das von N Mikrofonen empfangen wird;
- Berechnen von N entsprechenden Frequenzantworten durch schnelle Fourier-Transformation;
- Bilden eines Mittelwerts M der N Frequenzantworten;
- Überführen des Mittelwerts M der N Frequenzantworten in einen logarithmischen Frequenzmaßstab;
- Interpolieren einer Soll-Tonsignaturkurve C_{ec} anhand einer bestimmten Anzahl von Punkten, die durch einen Anwender gewählt werden;
- Überführen der Soll-Tonsignaturkurve C_{ec} in einen logarithmischen Frequenzmaßstab;
- Vergleichen der gemittelten Antwort M und der Soll-Antwort C_{ec} durch Berechnen der Differenz zwischen der gemittelten Antwort M und der Soll-Tonsignaturantwort C_{ec} ; und
- Analysieren der Kurve C_{diff} , die sich aus der Differenz zwischen der gemittelten Antwort M und der Sollantwort C_{ec} ergibt;

dadurch gekennzeichnet, dass es den folgenden Schritt umfasst:

- Bestimmen von Filterparametern für die Verringerung der Differenz zwischen der gemittelten Antwort M und der Sollantwort C_{ec} durch Verarbeiten zunächst der lokalen Maxima in abnehmender Reihenfolge entsprechend ihrer Verstärkung und dann der lokalen Minima und durch Ausführen sukzessiver Iterationen; wobei das Verfahren außerdem einen Schritt des Optimierens der Filterparameter umfasst, um die Leistung des Systems zu verbessern.

2. Verfahren für automatisierten akustischen Abgleich nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt des Interpolierens der Soll-Tonsignaturkurve mittels der Hermiteschen Methode ausgeführt wird.

3. Verfahren für automatisierten akustischen Abgleich nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** es außerdem einen Schritt des automatischen Optimierens des Versatzes der Sollantwort C_{ec} , der bei jeder Iteration wiederholt wird, umfasst.

4. Verfahren für automatisierten akustischen Abgleich nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass**

es außerdem einen Schritt des Glättens der N Frequenzantworten umfasst.

5 5. Verfahren für automatisierten akustischen Abgleich nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es in Abhängigkeit von der Form der lokalen Maxima und der lokalen Minima Filter verwendet, die den folgenden Typen entsprechen: "peak", "notch", "high-shelf" und "low-shelf".

6. Verfahren für automatisierten akustischen Abgleich nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen globalen Optimierungsalgorithmus ausführt, um den Fehler zu minimieren.

10 7. System für automatisierten akustischen Abgleich, das Mittel umfasst zum:

- Messen von N Impulsantworten $RI_1, RI_2, \dots, RI_N$ nach dem Aussenden eines im Voraus kalibrierten Tonsignals, das von N Mikrofonen empfangen wird;
- Berechnen der N entsprechenden Frequenzantworten durch schnelle Fourier-Transformation;
- Bilden eines Mittelwertes M der N Frequenzantworten;
- Überführen des Mittelwertes M der N Frequenzantworten in einen logarithmischen Frequenzmaßstab;
- Interpolieren einer Sollkurve C_{ec} anhand einer bestimmten Anzahl von Punkten, die durch einen Anwender definiert werden;
- Überführen der Sollkurve C_{ec} in einen logarithmischen Frequenzmaßstab;
- Vergleichen der gemittelten Antwort M und der Sollantwort C_{ec} durch Berechnen der Differenz zwischen der gemittelten Antwort M und der Sollantwort C_{ec} ; und
- Analysieren der Kurve C_{diff} , die sich aus der Differenz zwischen der gemittelten Antwort M und der Sollantwort C_{ec} ergibt;

dadurch gekennzeichnet, dass es Mittel umfasst zum:

- Bestimmen von Filterparametern für die Verringerung der Differenz zwischen der gemittelten Antwort M und der Sollantwort C_{ec} durch Verarbeiten zunächst der lokalen Maxima in abnehmender Reihenfolge entsprechend ihrer Verstärkung und dann der lokalen Minima und durch Ausführen sukzessiver Iterationen; wobei das System außerdem Mittel umfasst, um die Filterparameter zu optimieren, um die Leistung des Systems zu verbessern.

Claims

1. Method for automatic acoustic equalization, comprising the steps of:

- measuring N impulse responses $RI_1, RI_2, \dots, RI_N$ following the emission of a pre-calibrated sound signal received by N microphones;
- calculating N corresponding frequency responses using fast Fourier transforms;
- establishing a mean M of the N frequency responses;
- transposing said mean M of the N frequency responses onto a logarithmic frequency scale;
- interpolating a target sound signature curve C_{ec} from a specific number of points defined by a user;
- transposing said target sound signature curve C_{ec} onto a logarithmic frequency scale;
- comparing said mean response M and said target response C_{ec} by calculating the offset between said mean response M and said target sound signature response C_{ec} ;
- analyzing the curve C_{diff} resulting from the offset between said mean response M and said target response C_{ec} ; and **characterized in that** it comprises the following step:
- determining filter parameters for reducing the offset between said mean response M and said target response C_{ec} by firstly processing the local maxima in descending order according to the gain thereof, then the local minima, and by carrying out successive iterations;

said method further including a step of optimization of the parameters of the filters in order to improve the performance of the system.

2. Automated acoustic equalization method according to Claim 1, **characterized in that** the step of interpolation of the target sound signature curve is carried out by means of the Hermitian method.

3. Automated acoustic equalization method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** it further includes a step of automatic optimization of the offset of the target response C_{ec} repeated on each iteration.

4. Automated acoustic equalization method according to Claim 1, 2 or 3, **characterized in that** it further includes a step of smoothing of the N frequency responses.
5. Automated acoustic equalization method according to at least one of the preceding claims, **characterized in that** it employs filters corresponding to the following types: "peak", "notch", "high-shelf" and "low-shelf" as a function of the shape of the local maxima and the local minima.
6. Automated acoustic equalization method according to at least one of the preceding claims, **characterized in that** it employs a global optimization algorithm to minimize the error.
7. Automated acoustic equalization system, including means for:
 - measuring N impulse responses $RI_1, RI_2, \dots, RI_N$ following the emission of a pre-calibrated sound signal received by N microphones;
 - calculating N corresponding frequency responses using fast Fourier transforms;
 - establishing a mean M of the N frequency responses;
 - transposing said mean M of the N frequency responses onto a logarithmic frequency scale;
 - interpolating a target sound signature curve C_{ec} from a specific number of points defined by a user;
 - transposing said target sound signature curve C_{ec} onto a logarithmic frequency scale;
 - comparing said mean response M and said target response C_{ec} by calculating the offset between said mean response M and said target sound signature response C_{ec} ;
 - analyzing the curve C_{diff} resulting from the offset between said mean response M and said target response C_{ec} ; and **characterized in that** it includes means for:
 - determining filter parameters for reducing the offset between said mean response M and said target response C_{ec} by firstly processing the local maxima in descending order according to the gain thereof, then the local minima, and by carrying out successive iterations;

said system further including means for optimization of the parameters of the filters in order to improve the performance of the system.

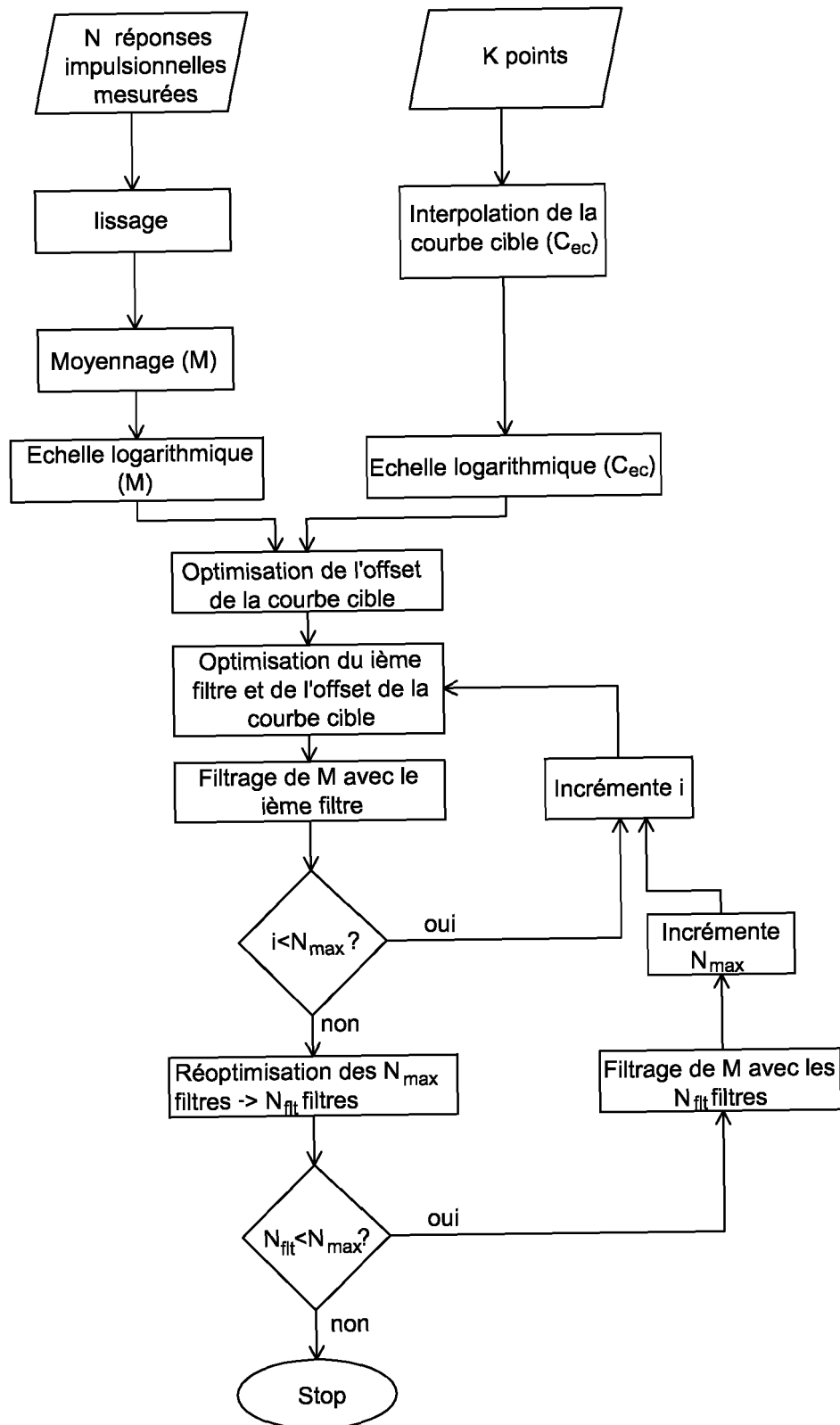


Figure 1

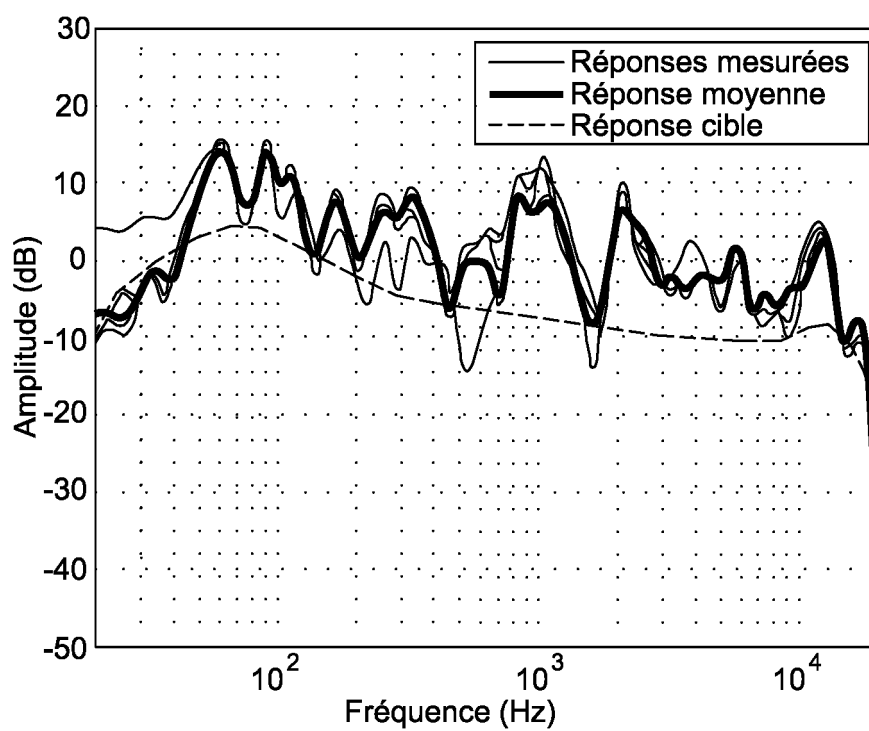


Figure 2

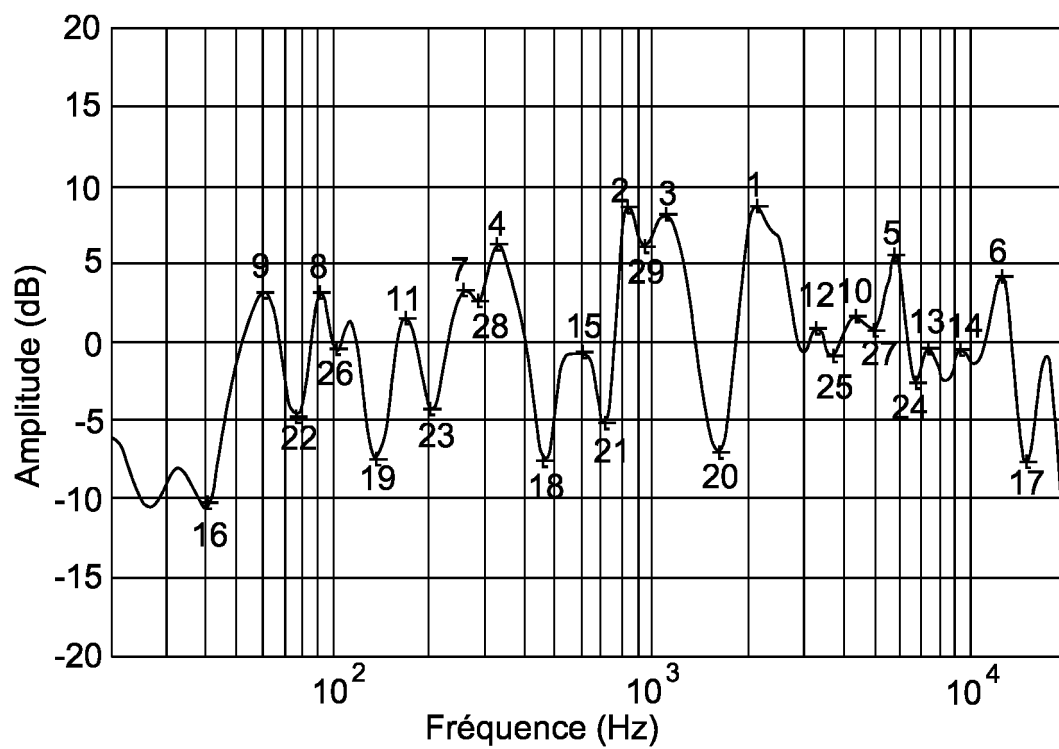


Figure 3

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 20070025559 A [0007]
- FR 2967848 [0007]
- US 6721428 B1 [0008]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **GERMAN RAMOS ; JOSE J. LOPEZ.** *Filter Design Method for Loudspeaker Equalization Based on IIR Parametric Filters* [0009]