



(11) **EP 3 381 204 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
13.11.2019 Bulletin 2019/46

(51) Int Cl.:
G10L 25/21 ^(2013.01) **H04S 7/00** ^(2006.01)
H04R 29/00 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16819332.4**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2016/053034

(22) Date de dépôt: **21.11.2016**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2017/089688 (01.06.2017 Gazette 2017/22)

(54) **PROCEDE ET DISPOSITIF POUR ESTIMER LA REVERBERATION ACOUSTIQUE**

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR SCHÄTZUNG VON SCHALLWIDERHALL

METHOD AND DEVICE FOR ESTIMATING SOUND REVERBERATION

(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**

(30) Priorité: **26.11.2015 FR 1561404**

(43) Date de publication de la demande:
03.10.2018 Bulletin 2018/40

(73) Titulaire: **Invoxia
92130 Issy Les Moulineaux (FR)**

(72) Inventeurs:
• **BELHOMME, Arthur
75015 Paris (FR)**
• **GRENIER, Yves
78114 Magny Les Hameaux (FR)**
• **BADEAU, Roland
75013 Paris (FR)**
• **HUMBERT, Eric
92100 Boulogne Billancourt (FR)**

(74) Mandataire: **Plasseraud IP
66, rue de la Chaussée d'Antin
75440 Paris Cedex 09 (FR)**

(56) Documents cités:
• **JIMI Y C WEN ET AL: "Blind estimation of reverberation time based on the distribution of signal decay rates", ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, 2008. ICASSP 2008. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 31 mars 2008 (2008-03-31), pages 329-332, XP031250555, ISBN: 978-1-4244-1483-3**
• **FALK T H ET AL: "Temporal Dynamics for Blind Measurement of Room Acoustical Parameters", IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 59, no. 4, 20 mars 2010 (2010-03-20), pages 978-989, XP011303835, ISSN: 0018-9456**
• **EATON JAMES ET AL: "Noise-robust reverberation time estimation using spectral decay distributions with reduced computational cost", 2013 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING (ICASSP); VANCOUCER, BC; 26-31 MAY 2013, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, PISCATAWAY, NJ, US, 26 mai 2013 (2013-05-26), pages 161-165, XP032508064, ISSN: 1520-6149, DOI: 10.1109/ICASSP.2013.6637629 [extrait le 2013-10-18]**

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).

EP 3 381 204 B1

Description

DOMAINE DE L'INVENTION

5 **[0001]** La présente invention est relative aux procédés et dispositifs pour estimer la réverbération acoustique.

ARRIERE PLAN DE L'INVENTION

10 **[0002]** L'estimation de la réverbération acoustique d'un milieu est essentielle pour capter des signaux acoustiques tels que la parole dans un milieu réverbérant tel que par exemple une pièce dans un bâtiment.

[0003] Lorsqu'un son est émis puis capté par un microphone dans un milieu réverbérant, le microphone capte non seulement le signal reçu directement, mais également des signaux réverbérés dans le milieu.

15 **[0004]** Cette réverbération est reflétée par la réponse impulsionnelle du milieu, dont découlent divers paramètres connus, notamment le temps de réverbération. La réponse impulsionnelle est mesurable directement en émettant une impulsion acoustique dans le milieu, mais cette méthode est lourde et difficilement envisageable pour effectuer des mesures répétées pendant qu'un ou des locuteurs parlent dans la pièce.

[0005] Le temps de réverbération peut être estimé à l'aveugle, par exemple pendant qu'un ou des locuteurs parlent. Le paramètre le plus couramment utilisé pour représenter le temps de réverbération est le temps de réverbération à 60 dB RT_{60} .

20 **[0006]** A titre d'exemple, le document US2014169575 décrit un procédé d'estimation à l'aveugle du temps de réverbération dans une pièce.

[0007] Toutefois, le temps de réverbération n'est pas représentatif de la distance entre l'émetteur et le microphone, qui pourtant a un impact important sur le niveau de réverbération. Les procédés connus du type susmentionnés ne permettent donc pas de traiter les signaux acoustiques captés de façon satisfaisante.

25 **[0008]** Les documents suivants font partie de l'état de l'art lié à la présente invention:

JIMI Y C WEN ET AL: "Blind estimation of reverberation time based on the distribution of signal decay rates", IEEE ICASSP 2008, p. 329-332.

30 FALK T H ET AL: "Temporal Dynamics for Blind Measurement of Room Acoustical Parameters", IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, vol. 59, no. 4, 2010, p. 978-989.

EATON JAMES ET AL: "Noise-robust reverberation time estimation using spectral decay distributions with reduced computational cost", 2013 IEEE ICASSP, 2013, p. 161-165.

OBJETS ET RESUME DE L'INVENTION

35 **[0009]** La présente invention a donc pour objet de proposer un procédé pour estimer la réverbération acoustique, qui permette d'éviter cet inconvénient.

[0010] A cet effet, l'invention propose un procédé pour estimer la réverbération acoustique dans un milieu, comprenant les étapes suivantes :

40 (a) une étape de mesure dans laquelle on capte au moins un signal acoustique dans le milieu,
 (b) une étape d'observation au cours de laquelle on détermine une distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique à partir du signal acoustique capté à l'étape (a) et on détermine la fonction caractéristique de la distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique,
 45 (c) une étape d'estimation au cours de laquelle on estime un temps de réverbération caractéristique et un niveau de réverbération caractéristique du son dans le milieu à partir de données représentatives de la distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique déterminée à l'étape (b), la régression étant faite en référence à :

- des fonctions caractéristiques de référence représentatives respectivement de plusieurs distributions de taux de décroissance d'énergie acoustique,
- des temps de réverbération caractéristiques de référence correspondant auxdites fonctions caractéristiques de référence,
- et des niveaux de réverbération caractéristiques de référence correspondant auxdites fonctions caractéristiques de référence.

55 **[0011]** Grâce à ces dispositions, et notamment grâce au fait que l'on applique la méthode d'estimation à la distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique, on peut déterminer à la fois un temps de réverbération caractéristique et un niveau de réverbération caractéristique du son dans le milieu, de façon fiable. Ces deux paramètres permettent

de traiter de façon satisfaisante les signaux sonores captés.

[0012] Dans divers modes de réalisation du procédé selon l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- 5 - au cours de l'étape d'estimation (c), on utilise un estimateur à fonction noyau et on détermine simultanément le temps de réverbération caractéristique et le niveau de réverbération caractéristique ;
- au cours de l'étape d'estimation (c), on utilise un estimateur de Nadaraya-Watson ;
- au cours de l'étape d'estimation (c), le niveau de réverbération caractéristique du son dans le milieu (7) est choisi parmi l'indice de clarté C_τ et l'indice de définition D_τ ;
- 10 - au cours de l'étape d'observation (b), on détermine les taux de décroissance d'énergie en calculant l'énergie E_m du signal acoustique sur des trames successives m de signal, puis en calculant un rapport logarithmique entre l'énergie de deux trames successives :

$$15 \quad \rho(m) = \log\left(\frac{E_m}{E_{m-1}}\right) \quad (5) ;$$

- le procédé comporte en outre une phase préliminaire de calibrage comprenant les étapes suivantes :

- 20 (a') au moins une étape initiale de détermination de signaux de référence dans laquelle on détermine une pluralité de signaux acoustiques de référence correspondant auxdits temps de réverbération caractéristiques de référence et auxdits niveaux de réverbération caractéristiques de référence,
- (b') au moins une étape initiale d'observation au cours de laquelle, pour chaque signal acoustique de référence, on détermine une distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique et la fonction caractéristique de référence ;
- 25 - au cours de ladite étape de détermination de signaux de référence, on détermine par calcul au moins une partie des signaux acoustiques de référence et les temps de réverbération caractéristiques et niveaux de réverbération caractéristiques de référence correspondant auxdits signaux acoustiques de référence, à partir d'un ensemble prédéterminé de réponses impulsionnelles ;
- 30 - au cours de ladite étape de détermination de signaux de référence, on détermine par mesure au moins une partie des signaux acoustiques de référence, les temps de réverbération caractéristiques et les niveaux de réverbération caractéristiques de référence correspondant auxdits signaux acoustiques de référence.

35 **[0013]** Par ailleurs, l'invention a également pour objet un dispositif pour estimer la réverbération acoustique dans un milieu, comprenant :

- (a) des moyens de mesure pour capter au moins un signal acoustique émis dans le milieu,
- (b) des moyens pour déterminer une distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique à partir du signal acoustique capté par les moyens de mesure, et pour déterminer la fonction caractéristique de la distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique,
- 40 (c) des moyens pour estimer un temps de réverbération caractéristique et un niveau de réverbération caractéristique du son dans le milieu à partir de données représentatives de la distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique, la régression étant faite en référence à :
- 45 - des fonctions caractéristiques de référence représentatives respectivement de plusieurs distributions de taux de décroissance d'énergie acoustique,
- des temps de réverbération caractéristiques de référence correspondant auxdites fonctions caractéristiques de référence,
- 50 - et des niveaux de réverbération caractéristiques de référence correspondant auxdites fonctions caractéristiques de référence.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

55 **[0014]** D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description suivante d'un de ses modes de réalisation, donné à titre d'exemple non limitatif, en regard des dessins joints.

[0015] Sur les dessins :

- la figure 1 est une vue schématique illustrant la réverbération du son dans une pièce lorsqu'un sujet parle de façon que ses paroles soient captées par un dispositif selon une forme de réalisation de l'invention,
- la figure 2 est un schéma de principe du dispositif de la figure 1.

5 DESCRIPTION PLUS DETAILLEE

[0016] Sur les différentes figures, les mêmes références désignent des éléments identiques ou similaires.

[0017] L'invention a pour but d'estimer la réverbération acoustique d'un milieu 7, par exemple une pièce dans un bâtiment telle que schématisée sur la figure 1, de façon à traiter les signaux acoustiques captés par un dispositif électronique 1 pourvu d'un microphone 2. Le dispositif électronique 1 peut être par exemple un téléphone dans l'exemple représenté, ou un ordinateur ou autre.

[0018] Lorsqu'un son est émis dans le milieu 7, par exemple par une personne 3, ce son se propage jusqu'au microphone 2 selon divers trajets 4, soit directs, soit après réflexion sur une ou plusieurs parois 5, 6 du milieu 7.

[0019] Comme représenté sur la figure 2, le dispositif électronique 1 peut comporter par exemple une unité centrale électronique 8 telle qu'un processeur ou autre, reliée au microphone 2 et à divers autres éléments, incluant par exemple un haut-parleur 9, un clavier 10, un écran 11. L'unité centrale électronique 8 peut communiquer avec un réseau externe 12, par exemple un réseau téléphonique.

[0020] L'invention permet au dispositif électronique 1 de mesurer à l'aveugle, deux paramètres caractéristiques de la réverbération du milieu 7 :

- un temps de réverbération caractéristique, par exemple le temps de réverbération à 60 dB RT_{60} ,
- et un niveau de réverbération caractéristique (par exemple indice de clarté ou de définition, ou indice de signal direct sur signal réverbéré).

[0021] Ces paramètres peuvent être utilisés pour supprimer les effets d'échos ou plus généralement pour optimiser les signaux sonores captés par le microphone 2. Les paramètres en question sont estimés de façon répétitive, de façon que le dispositif 1 s'adapte par exemple à des changements de locuteurs 3, à des déplacements de locuteurs 3, à des déplacements du dispositif 1 ou d'autres objets dans le milieu 7.

[0022] Le temps de réverbération à 60dB RT_{60} peut être défini par la méthode d'intégration inverse de Manfred R. Schroeder (New Method of Measuring Reverberation Time, The Journal of the Acoustical Society of America, 37(3) :409, 1965) par la courbe de décroissance d'énergie (Energy Decay Curve) EDC :

$$EDC(n) = \sum_{k=n}^{N_h} h(k)^2 \quad (1)$$

Où :

- h est la réponse impulsionnelle du milieu de longueur N_h ,
- n est un indice temporel, par exemple un nombre d'échantillons obtenus par un échantillonnage de pas temporel constant, n étant compris entre 1 et N_h .

[0023] RT_{60} est le temps à l'indice temporel n requis pour que $EDC(n)$ diminue de 60 dB.

[0024] Bien que le temps de réverbération RT_{60} soit le plus couramment utilisé, on pourrait estimer un autre temps de réverbération caractéristique du milieu 7.

[0025] Le niveau de réverbération est le plus couramment représenté par l'indice de clarté :

$$C_\tau = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{n=0}^{N_\tau} h^2(n)}{\sum_{n=N_\tau+1}^{\infty} h^2(n)} \right) \text{dB}, \quad (2)$$

ou par l'indice de définition :

$$D_\tau = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{n=0}^{N_\tau} h^2(n)}{\sum_{n=0}^{\infty} h^2(n)} \right) \text{dB}, \quad (3)$$

où :

- N_τ est le nombre d'échantillons à pas temporels constant correspondant au temps τ , généralement compris entre 0.1 ms et 1 s,
- n est un indice temporel compris entre 1 et N_τ , représentatif d'un nombre d'échantillons de pas temporel constant,
- $h(n)$ est la réponse impulsionnelle du milieu 7.

[0026] Ces indices ont été décrits notamment par P. A. Naylor et N. D. Gaubitch (Speech Dereverberation, Springer, eds édition, 2010).

[0027] Les deux valeurs les plus couramment utilisées de τ sont 50 ms et 80 ms, notamment 50 ms (indices C_{50} et D_{50}), mais d'autres durées sont possibles et plus généralement d'autres indices reflétant le rapport du son direct au son réverbéré pourraient être estimés dans le procédé selon l'invention, mis en œuvre par exemple par l'unité centrale électronique 8 susmentionnée.

[0028] Ce procédé comporte les étapes suivantes :

- (a) une étape de mesure de signal acoustique,
- (b) une étape d'observation au cours de laquelle on détermine une distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique à partir des signaux acoustiques mesurés à l'étape (a),
- (c) une étape d'estimation au cours de laquelle on estime, par régression à partir de la distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique déterminée à l'étape (b), un temps de réverbération caractéristique et un niveau de réverbération caractéristique du son dans le milieu 7.

(a) Etape de mesure :

[0029] Au cours de cette étape, le microphone 2 capte « à l'aveugle » (c'est-à-dire sans connaissance préalable des signaux émis), un signal acoustique diffusé dans le milieu 7, par exemple lorsque le locuteur 3 parle. Ce signal est échantillonné et stocké dans le processeur 8 ou une mémoire annexe (non représentée).

(b) Etape d'observation :

[0030] Au cours de cette étape, on détermine une distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique à partir du signal acoustique mesuré à l'étape (a).

[0031] Pour cela, on détermine d'abord l'enveloppe d'énergie du signal réverbéré $d_x(n)$ telle que décrit notamment par Wen et al. (J.Y.C. Wen, E.A.P. Habets, and P.A. Naylor, Blind estimation of reverberation time based on the distribution of signal decay rates, Acoustics, Speech. and Signal Processing, 2008, ICASSP 2008, IEEE International Conférence pages 329-332, Mars 2008).

[0032] En faisant un calcul sur des trames de N_ω échantillons de signal séparées par des sauts de R échantillons de signal, on peut calculer une énergie totale de la trame m par la formule :

$$E_m = \sum_{i=0}^{N_\omega-1} d_x(mR + i) \quad (4)$$

et ensuite estimer le taux de décroissance d'énergie en calculant le rapport logarithmique entre deux trames successives :

$$\lambda_x \approx \rho(m) = \log\left(\frac{E_m}{E_{m-1}}\right). \quad (5)$$

[0033] En effet, l'enveloppe d'énergie $d_x(n)$ peut être exprimée par la formule :

$$d_x(n) = \begin{cases} (e^{\lambda_h n} - e^{\lambda_s n}) / (\lambda_h - \lambda_s) & \text{si } \lambda_h \neq \lambda_s \\ n e^{\lambda_h n} & \text{si } \lambda_h = \lambda_s \end{cases} \quad (6)$$

où λ_s and λ_h sont respectivement le taux de décroissance d'énergie du signal anéchoïque émis et du milieu 7 (le signal capté est une convolution du signal anéchoïque émis (parole) avec la réponse impulsionnelle du milieu entre le locuteur 3 et le microphone 2, n étant l'indice temporel défini précédemment).

[0034] Comme la somme est dominée par le terme exponentiel correspondant à la plus grande valeur de λ , le taux de décroissance d'énergie du signal réverbéré λ_x peut être approximé par :

$$\lambda_x \approx \max[\lambda_h, \lambda_s] \quad (7),$$

ce qui justifie la formule (5) ci-dessus.

[0035] Le calcul de $\rho(m)$ peut typiquement être fait sur un nombre M de trames d'au moins 2000, correspondant à au moins 1 mn de signal selon les paramètres d'analyse choisis. Les trames peuvent avoir une durée individuelle de 10 à 100 ms, notamment de l'ordre de 32 ms. Les trames peuvent se recouvrir mutuellement, par exemple avec un taux de recouvrement de l'ordre de 50 % entre trames successives.

[0036] On obtient ainsi différentes valeurs du taux de décroissance d'énergie $\rho(m)$, qui présentent une certaine distribution statistique (nombre de réalisations ou probabilité de réalisation en fonction du taux de décroissance d'énergie $\rho(m)$, comme explicité par exemple dans l'article de Wen et al. ci-dessus).

[0037] On détermine ensuite la fonction caractéristique de la distribution de taux de décroissance d'énergie, par la formule suivante (voir Audrey Feuerverger et Roman A. Mureika [The empirical characteristic function and its applications, Ann. Statist., 5(1):88-97, 01 1977]):

$$\phi_X(f) = \int e^{ifx} dF_X(x) = E[e^{ifX}] \quad (8)$$

où X représente ici le taux de décroissance d'énergie $\rho(m)$ susmentionné estimé pour diverses valeurs de m (formule (5)), F_X la distribution cumulée de X et f est une variable sans dimension généralement appelée fréquence angulaire.

[0038] La fonction caractéristique peut être calculée pour des fréquences angulaires f allant par exemple de 0 à 0,4, par incrément de 0,001.

(c) Etape d'estimation :

[0039] On part de la fonction caractéristique $\Phi_{\rho(m)}(f)$, calculée pour p/2 fréquences f (p étant un entier naturel pair), la gamme de fréquences f et leur échantillonnage étant prévus pour que $|\Phi_{\rho(m)}(f)|$ soit compris préférentiellement entre 0.1 et 1.

[0040] Typiquement, p peut être compris par exemple entre 256 et 2048.

[0041] La fonction caractéristique étant un nombre complexe, elle peut être représentée par un vecteur de X appartenant à $\mathbb{R}^p$, constituant le vecteur d'entrée aléatoire x de l'estimateur utilisé. Le vecteur de sortie aléatoire y de l'estimateur, appartenant à $\mathbb{R}^2$, a pour composante les deux paramètres estimés, par exemple (RT_{60}, C_{50}) ou (RT_{60}, D_{50}) .

[0042] L'estimateur utilisé peut être avantageusement un estimateur à fonction noyau, par exemple un estimateur de Nadaraya-Watson. Un tel estimateur présente l'avantage de déterminer simultanément le temps de réverbération caractéristique et le niveau de réverbération caractéristique.

[0043] L'estimateur en question peut être déterminé préalablement dans une phase initiale de calibrage, où on met en œuvre au moins une étape initiale de détermination de signaux de référence (a') et au moins une étape initiale d'observation (b').

[0044] Au cours de l'étape initiale de détermination de signaux de référence, on détermine une pluralité de signaux acoustiques de référence et des temps de réverbération caractéristiques de référence et niveaux de réverbération caractéristiques de référence correspondants.

[0045] Au cours de l'étape initiale d'observation, on détermine la distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique et la fonction caractéristique de référence pour chaque signal acoustique de référence, de façon identique ou similaire à l'étape d'observation (b) susmentionnée.

[0046] Les signaux acoustiques de référence sont des signaux généralement vocaux au nombre de N et correspondent à N cas de figures différents (locuteurs différents, positions différentes, milieux 7 différents). N peut être de plusieurs centaines, voire plusieurs milliers.

[0047] L'étape initiale de détermination de signaux de référence peut être effectuée :

- avec des mesures réelles nouvelles effectuées par exemple avec un dispositif électronique 1 d'un modèle déterminé (dans ce cas, le temps de réverbération caractéristique et le niveau de réverbération caractéristique peuvent être également mesurés) ;
- et / ou avec des signaux acoustiques synthétiques.

[0048] Dans le cas des mesures réelles, celles-ci ne seront généralement pas faites dans le milieu 7 particulier ou le dispositif électronique 1 sera utilisé, bien que ce cas de figure puisse être envisagé.

[0049] Les signaux acoustiques synthétiques susmentionnés peuvent être calculés en convoluant des réponses im-

pulsionnelles préenregistrées avec des signaux anéchoïques de parole également préenregistrés provenant de locuteurs différents. Les réponses impulsionnelles préenregistrées peuvent par exemple provenir de bases de données de réponses impulsionnelles, par exemple provenant de bases de données en accès libre telles que les bases de données Aachen Impulse Response (<http://www.openairlib.net/auralizationdb>), MARDY (Wen et al., Evaluation of speech dereverberation algorithms using the Mardy database, Sept. IWAENC 2006, Paris), QueenMary (R. Stewart and M. Sandler, Database of omnidirectional and b-format room impulse responses, In Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP). 2010 IEEE International Conference on., pages 165-168, March 2010), par exemple avec des temps de réverbération RT_{60} allant de 0.3 s à 8 s et des indices de clarté C_{50} de -10 dB à 25 dB. Les signaux anéchoïques de parole peuvent être des signaux enregistrés à partir de locuteurs divers, par exemple d'âges et sexes différents, avec par exemple des durées d'enregistrement par exemple de quelques minutes, par exemple de l'ordre de 5 minutes.

[0050] Les distributions de taux de décroissance d'énergie peuvent par exemple être calculées sur des trames de 10 à 100 ms, notamment de l'ordre de 32 ms. Les trames peuvent se recouvrir mutuellement, par exemple avec un taux de recouvrement de l'ordre de 50 % entre trames successives. Les fonctions caractéristiques peuvent être calculées pour des fréquences angulaires allant par exemple de 0 à 0,4, par incrément de 0,001.

[0051] On obtient ainsi N réalisations des vecteurs x et y susmentionnés, et l'estimateur de Nadaraya-Watson peut alors être déterminé par la formule :

$$\hat{f}(x) = \frac{\sum_{i=1}^N y_i K_{\lambda}(x, x_i)}{\sum_{i=1}^N K_{\lambda}(x, x_i)} \quad (9)$$

où :

- $x_i, y_i, i = 1$ à N , sont les N réalisations des vecteurs x, y utilisées pour l'étape de calibration,
- $K_{\lambda}(x, x_i)$ est une fonction noyau (kernel) de fenêtre λ (λ est une constante également appelée paramètre de lissage),
- x est le vecteur d'entrée inconnu (mesure effectuée à l'étape de mesure (a) en vue d'estimer le vecteur y par la formule $y = \hat{f}(x)$).

[0052] La fonction noyau $K_{\lambda}(x, x_i)$ est une fonction de x et x_i telle que définie notamment par Scholkopf et al. (B. Scholkopf and A. J. Smola, Learning with Kernels, MIT Press, Cambridge, MA, 2001).

[0053] On peut notamment utiliser un noyau gaussien, par exemple avec une fenêtre de $\lambda = 5 \cdot 10^{-4}$ (exemple non limitatif) :

$$K_{\lambda}(x, x_i) = \frac{1}{\lambda} e^{\frac{-\|x-x_i\|^2}{2\lambda}}.$$

[0054] Les tests effectués montrent que le procédé de l'invention est plus précis que les procédés de l'art antérieur pour la détermination du temps de réverbération, et il permet en outre de déterminer le niveau de réverbération en même temps que le temps de réverbération, ce qui est un gain important.

Revendications

1. Procédé pour estimer la réverbération acoustique dans un milieu (7), comprenant les étapes suivantes :

- (a) une étape de mesure dans laquelle on capte au moins un signal acoustique émis dans le milieu (7),
- (b) une étape d'observation au cours de laquelle on détermine une distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique à partir du signal acoustique mesuré à l'étape (a) et on détermine la fonction caractéristique de la distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique,
- (c) une étape d'estimation au cours de laquelle on estime, par régression un temps de réverbération caractéristique et un niveau de réverbération caractéristique du son dans le milieu (7) à partir de ladite fonction caractéristique déterminée à l'étape (b), la régression étant faite en référence à :

- des fonctions caractéristiques de référence représentatives respectivement de plusieurs distributions de taux de décroissance d'énergie acoustique,
- des temps de réverbération caractéristiques de référence correspondant auxdites fonctions caractéristiques de référence,

- et des niveaux de réverbération caractéristiques de référence correspondant auxdites fonctions caractéristiques de référence.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, au cours de l'étape d'estimation (c), on utilise un estimateur à fonction noyau et on détermine simultanément le temps de réverbération caractéristique et le niveau de réverbération caractéristique.

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel, au cours de l'étape d'estimation (c), on utilise un estimateur de Nadaraya-Watson.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, au cours de l'étape d'estimation (c), le niveau de réverbération caractéristique du son dans le milieu (7) est choisi parmi l'indice de clarté C_τ et l'indice de définition D_τ .

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au cours de l'étape d'observation (b), on détermine les taux de décroissance d'énergie en calculant l'énergie E_m du signal acoustique sur des trames successives m de signal, puis en calculant un rapport logarithmique entre l'énergie de deux trames successives :

$$\rho(m) = \log\left(\frac{E_m}{E_{m-1}}\right) \quad (5) .$$

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant en outre une phase préliminaire de calibrage comprenant les étapes suivantes :

(a') au moins une étape initiale de détermination de signaux de référence dans laquelle on détermine une pluralité de signaux acoustiques de référence correspondant auxdits temps de réverbération caractéristiques de référence et auxdits niveaux de réverbération caractéristiques de référence,

(b') au moins une étape initiale d'observation au cours de laquelle, pour chaque signal acoustique de référence, on détermine une distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique et la fonction caractéristique de référence.

7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel au cours de ladite étape de détermination de signaux de référence, on détermine par calcul au moins une partie des signaux acoustiques de référence et les temps de réverbération caractéristiques et niveaux de réverbération caractéristiques de référence correspondant auxdits signaux acoustiques de référence, à partir d'un ensemble prédéterminé de réponses impulsionnelles.

8. Procédé selon la revendication 6, dans lequel au cours de ladite étape de détermination de signaux de référence, on détermine par mesure au moins une partie des signaux acoustiques de référence, les temps de réverbération caractéristiques et les niveaux de réverbération caractéristiques de référence correspondant auxdits signaux acoustiques de référence.

9. Dispositif pour estimer la réverbération acoustique dans un milieu (7), comprenant :

(a) des moyens de mesure (2) pour capter au moins un signal acoustique émis dans le milieu (7),
(b) des moyens (8) pour déterminer une distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique à partir du signal acoustique capté par les moyens de mesure, et pour déterminer la fonction caractéristique de la distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique,

(c) des moyens (8) pour estimer un temps de réverbération caractéristique et un niveau de réverbération caractéristique du son dans le milieu à partir de données représentatives de la distribution de taux de décroissance d'énergie acoustique, la régression étant faite en référence à :

- des fonctions caractéristiques de référence représentatives respectivement de plusieurs distributions de taux de décroissance d'énergie acoustique,

- des temps de réverbération caractéristiques de référence correspondant auxdites fonctions caractéristiques de référence,

- et des niveaux de réverbération caractéristiques de référence correspondant auxdites fonctions caractéristiques de référence.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schätzen der akustischen Rückstrahlung in einer Umgebung (7), umfassend die folgenden Schritte:

- (a) einen Schritt eines Messens, in welchem wenigstens ein akustisches Signal aufgenommen wird, welches in der Umgebung (7) emittiert wird,
 (b) einen Schritt eines Beobachtens, während welchem eine Verteilung einer Abschwächungsrate von akustischer Energie ausgehend von dem in Schritt (a) gemessenen akustischen Signal bestimmt wird und die charakteristische Funktion der Verteilung der Abschwächungsrate von akustischer Energie bestimmt wird,
 (c) einen Schritt eines Schätzens, in welchem durch Regression eine charakteristische Rückstrahlungszeit und ein charakteristischer Rückstrahlungspegel des Schalls in der Umgebung (7) ausgehend von der in Schritt (b) bestimmten charakteristischen Funktion geschätzt wird, wobei die Regression durchgeführt wird unter Bezugnahme auf:

- charakteristische Referenz-Funktionen, welche jeweils für mehrere Verteilungen von Abschwächungsraten von akustischer Energie repräsentativ sind,
- charakteristische Referenz-Rückstrahlungszeiten, welche den charakteristischen Referenz-Funktionen entsprechen,
- und charakteristische Referenz-Rückstrahlungspegel, welche den charakteristischen Referenzfunktionen entsprechen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei während des Schritts des Schätzens (c) ein Schätzer mit Kernfunktion verwendet wird und gleichzeitig die charakteristische Rückstrahlungszeit und der charakteristische Rückstrahlungspegel bestimmt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei während des Schritts des Schätzens (c) ein Nadaraya-Watson-Schätzer verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei während des Schritts des Schätzens (c) der charakteristische Rückstrahlungspegel des Schalls in der Umgebung (7) aus dem Klarheitsindex C_r und dem Definitionsindex D_r ausgewählt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei während des Schritts des Beobachtens (b) die Abschwächungsraten der Energien bestimmt werden, indem die Energie E_m des akustischen Signals von aufeinander folgenden Signalframes m berechnet wird und dann ein logarithmisches Verhältnis zwischen der Energie von zwei aufeinander folgenden Frames berechnet wird:

$$\rho(m) = \log \left(\frac{E_m}{E_{m-1}} \right) \quad (5).$$

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend eine vorbereitende Kalibrationsphase, umfassend die folgenden Schritte:

- (a') wenigstens ein anfänglicher Schritt eines Bestimmens von Referenzsignalen, in welchem eine Mehrzahl von akustischen Referenzsignalen bestimmt werden, welche den charakteristischen Referenz-Rückstrahlungszeiten und den charakteristischen Referenz-Rückstrahlungspegeln entsprechen,
 (b') wenigstens ein anfänglicher Schritt eines Beobachtens, während welchem für jedes akustische Referenzsignal eine Verteilung einer Abschwächungsrate von akustischer Energie und die charakteristische Referenzfunktion bestimmt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei während des Schritts des Bestimmens der Referenzsignale durch Berechnen wenigstens ein Teil der akustischen Referenzsignale und die charakteristischen Referenz-Rückstrahlungszeiten und charakteristischen Referenz-Rückstrahlungspegel bestimmt werden, welche den akustischen Referenzsignalen entsprechen, ausgehend von einer vorbestimmten Menge von Impulsantworten.

8. Verfahren nach Anspruch 6, wobei während des Schritts des Bestimmens von Referenzsignalen durch Messen wenigstens ein Teil der akustischen Referenzsignale, die charakteristischen Referenz-Rückstrahlungszeiten und

charakteristischen Referenz-Rückstrahlungspegel bestimmt werden, welche den akustischen Referenzsignalen entsprechen.

9. Vorrichtung zum Schätzen der akustischen Rückstrahlung in einer Umgebung (7), umfassend:

- (a) Messmittel (2) zum Aufnehmen von wenigstens einem akustischen Signal, welches in der Umgebung (7) emittiert wird,
- (b) Mittel (8) zum Bestimmen einer Verteilung einer Abschwächungsrate von akustischer Energie ausgehend von dem durch die Messmittel aufgenommenen akustischen Signal und zum Bestimmen der charakteristischen Funktion der Verteilung der Abschwächungsrate von akustischer Energie,
- (c) Mittel (8) zum Bestimmen einer charakteristischen Rückstrahlungszeit und eines charakteristischen Rückstrahlungspegels des Schalls in der Umgebung ausgehend von Daten, welche die Verteilung der Abschwächungsrate von akustischer Energie repräsentieren, wobei die Regression durchgeführt wird unter Bezugnahme auf:

- charakteristische Referenz-Funktionen, welche jeweils für mehrere Verteilungen von Abschwächungsrate von akustischer Energie repräsentativ sind,
- charakteristische Referenz-Rückstrahlungszeiten, welche den charakteristischen Referenz-Funktionen entsprechen,
- und die charakteristischen Referenz-Rückstrahlungspegel, welche den charakteristischen Referenzfunktionen entsprechen.

Claims

1. A method for estimating the acoustic reverberations in an environment (7) comprising the following steps:

- (a) a measurement step in which at least one acoustic signal emitted in the environment (7) is captured;
- (b) an observation step during which an acoustic energy decay rate distribution is determined from the acoustic signal measured in step (a) and the characteristic function of the acoustic energy decay rate distribution is determined;
- (c) an estimation step during which a characteristic reverberation time and a characteristic reverberation level of the sound in the environment (7) thereof are estimated by regression from said characteristic function determined in step (b), where the regression is done with reference to:

- reference characteristic functions representative respectively of several acoustic energy decay rate distributions;
- reference characteristic reverberation times corresponding to said reference characteristic functions; and
- reference characteristic reverberation levels corresponding to said reference characteristic functions.

2. The method according to claim 1 wherein during the estimation step (c), a kernel function estimator is used and the characteristic reverberation time and the characteristic reverberation level are determined simultaneously.

3. The method according to claim 2 wherein during the estimation step (c), a Nadaraya-Watson estimator is used.

4. The method according to any one of the preceding claims wherein during the estimation step (c), the characteristic reverberation level of the sound in the environment (7) is chosen among the clarity index C_{τ} and the definition index D_{τ} .

5. The method according to any one of the preceding claims wherein during the observation step (b), the energy decay rates are determined by calculating the energy E_m of the acoustic signal on successive signal frames m , and then calculating a logarithmic ratio between the energy of two successive frames:

$$\rho(m) = \log\left(\frac{E_m}{E_{m-1}}\right) \quad (5) .$$

6. The method according to any one of the preceding claims further comprises a preliminary calibration phase comprising the following steps:

(a') at least one initial reference signal determination step in which a plurality of reference acoustic signals corresponding to said reference characteristic reverberation times and said reference characteristic reverberation levels are determined;

(b') at least one initial observation step during which, an acoustic energy decay rate distribution and the reference characteristic function are determined for each reference acoustic signal.

7. The method according to claim 6 wherein during said reference signal determination step, at least one part of the reference acoustic signals and the reference characteristic reverberation times and characteristic reverberation levels corresponding to said reference acoustic signals are determined by calculation from a predetermined set of impulse responses.

8. The method according to claim 6 wherein during said reference signal determination step, at least one part of the reference acoustic signals, the characteristic reverberation times and the reference characteristic reverberation levels corresponding to said reference acoustic signals are determined by measurement.

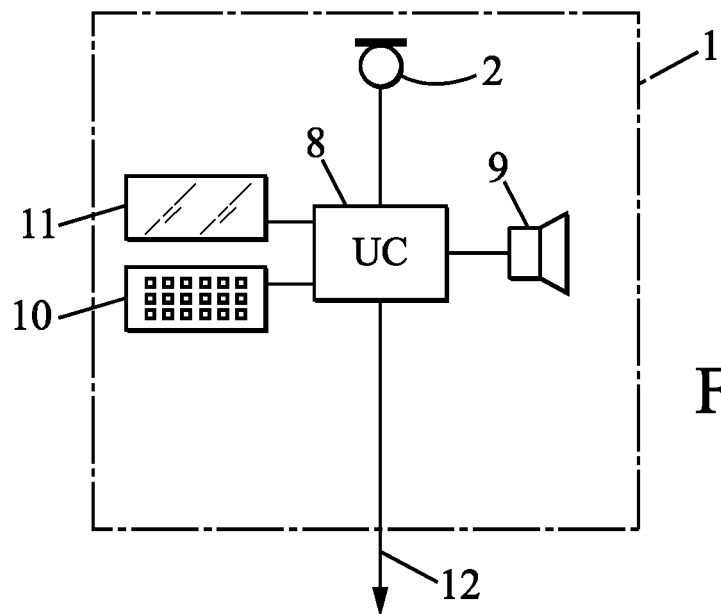
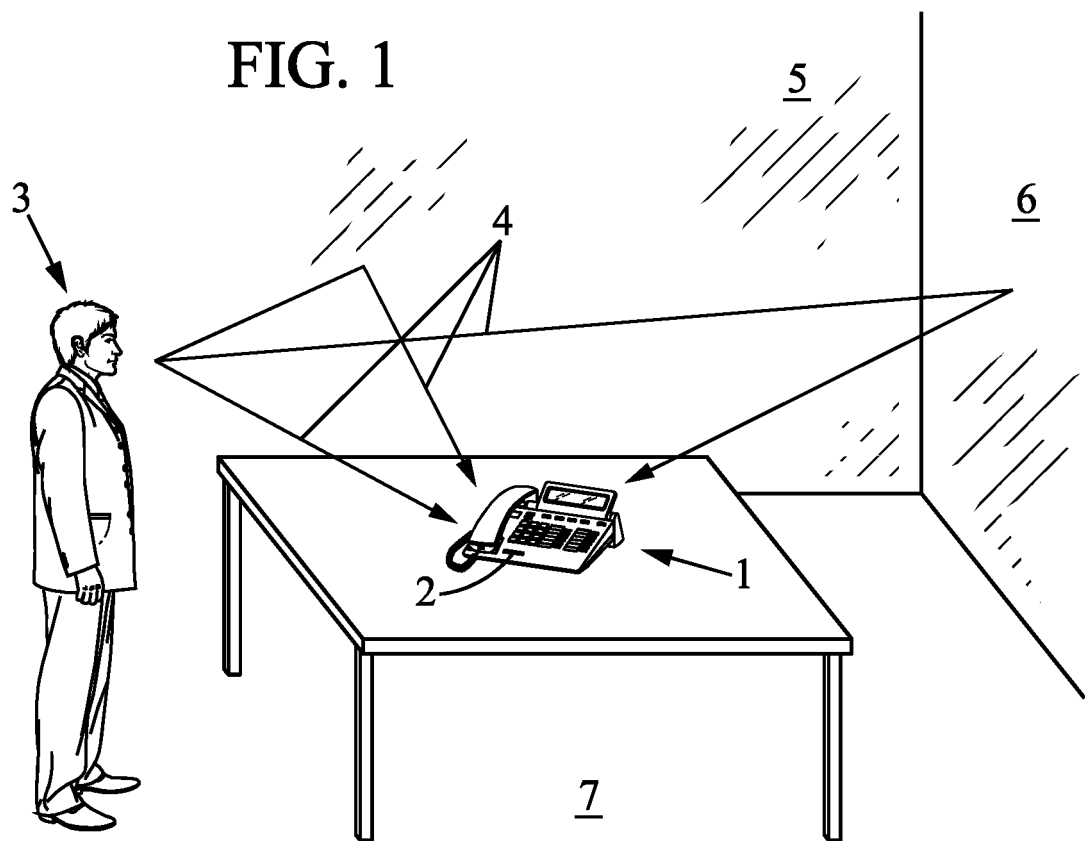
9. A device for estimating the acoustic reverberations in an environment (7) comprising:

(a) means of measurement (2) for capturing at least one acoustic signal emitted in the environment (7);

(b) means of determination (8) of an acoustic energy decay rate distribution from the acoustic signal captured by the means of measurement, and for determining the characteristic function of the acoustic energy decay rate distribution;

(c) means of estimation (8) of a characteristic reverberation time and a characteristic reverberation level of the sound in the environment from data representative of the acoustic energy decay rate distribution, where the regression is done with reference to:

- reference characteristic functions representative respectively of several acoustic energy decay rate distributions;
- reference characteristic reverberation times corresponding to said reference characteristic functions; and
- reference characteristic reverberation levels corresponding to said reference characteristic functions.



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 2014169575 A [0006]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **JIMI Y C WEN et al.** Blind estimation of reverberation time based on the distribution of signal decay rates. *IEEE ICASSP*, 2008, 329-332 [0008]
- **FALK T H et al.** Temporal Dynamics for Blind Measurement of Room Acoustical Parameters. *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, 2010, vol. 59 (4), 978-989 [0008]
- **EATON JAMES et al.** Noise-robust reverberation time estimation using spectral decay distributions with reduced computational cost. *2013 IEEE ICASSP*, 2013, 161-165 [0008]
- **MANFRED R. SCHROEDER.** New Method of Measuring Reverberation Time. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1965, vol. 37 (3), 409 [0022]
- **P. A. NAYLOR ; N. D. GAUBITCH.** Speech Dereverberation. 2010 [0026]
- **J.Y.C. WEN ; E.A.P. HABETS ; P.A. NAYLOR.** Blind estimation of reverberation time based on the distribution of signal decay rates. *Acoustics, Speech. and Signal Processing, 2008, ICASSP 2008, IEEE International Conference*, Mars 2008, 329-332 [0031]
- **AUDREY FEUERVERGER ; ROMAN A. MUREIKA.** The empirical characteristic function and its applications. *Ann. Statist.*, 1977, vol. 5 (1), 88-97 [0037]
- **WEN et al.** Evaluation of speech dereverberation algorithms using the Mardy database. *IWAENC*, Septembre 2006 [0049]
- **R. STEWART ; M. SANDLER.** Database of omnidirectional and b-format room impulse responses. *In Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP). 2010 IEEE International Conference on.*, Mars 2010, 165-168 [0049]
- **B. SCHOLKOPF ; A. J. SMOLA.** Learning with Kernels. MIT Press, 2001 [0052]