

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 601 934 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
02.09.1998 Bulletin 1998/36

(51) Int Cl.⁶: **G10K 11/16, G10K 11/34**

(21) Numéro de dépôt: **93402974.5**

(22) Date de dépôt: **09.12.1993**

(54) **Perfectionnements aux procédés et dispositifs pour protéger des bruits extérieurs un volume donné, de préférence disposé à l'intérieur d'un local**

Verbesserung des Verfahrens und der Vorrichtung zum Schutz eines vorzugsweise innerhalb eines Raumes angeordneten gegebenen Volumens von aussen kommenden Geräuschen

Improvements to methods and devices used to protect from external noises a given volume, preferably located inside a room

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH DE DK ES FR GB GR IE IT LI LU MC NL
PT SE**

(30) Priorité: **11.12.1992 FR 9214952**

(43) Date de publication de la demande:
15.06.1994 Bulletin 1994/24

(73) Titulaire: **Decaux, Jean-Claude**
F-92200 Neuilly sur Seine (FR)

(72) Inventeurs:
• **Lewiner, Jacques**
F-92210 Saint-Cloud (FR)
• **Fink, Mathias**
F-92190 Meudon (FR)

(74) Mandataire: **Burbaud, Eric et al**
Cabinet Plasseraud
84, rue d'Amsterdam
75440 Paris Cédex 09 (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 510 864 WO-A-92/20063
GB-A- 2 191 063

- **JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA** vol. 90, no. 2 , Août 1991 , NEW YORK US pages 1119 - 1129 C. PRADA ET AL. 'The iterative time reversal mirror: Asolution to self-focusing in the pulse echo mode.'

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 0 601 934 B1

Description

On désire souvent protéger certains volumes vis-à-vis des bruits engendrés à l'extérieur de ces volumes.

Les volumes en question sont notamment ceux destinés à être occupés par la tête d'un individu, notamment en position assise ou en position couchée : lorsque la protection acoustique désirée est obtenue, l'individu concerné est à l'abri des agressions acoustiques extérieures tant que sa tête demeure placée à l'intérieur d'un tel volume.

Pour assurer une telle protection acoustique, il a déjà été proposé d'interposer entre les volumes en question et l'extérieur de ceux-ci des cloisons phoniquement isolantes.

L'isolation obtenue par de telles cloisons est limitée et les obstacles physiques matérialisés par lesdites cloisons sont souvent réducteurs.

Il a également été proposé de neutraliser certains sons reçus par de tels volumes en appliquant sur lesdits volumes des "contre-bruits" d'amplitude identique et de phase opposée à celles desdits sons. Le document GB-A-2 191 063 divulgue un tel dispositif.

Mais jusqu'à ce jour, ce type de neutralisation, désignée parfois sous le nom d'atténuation active, n'a conduit à des résultats encourageants que pour des sons sinusoïdaux relativement purs et transmis directement depuis leur source au volume à protéger.

En particulier, les bruits aléatoires n'ont pu être traités correctement de la sorte et, lorsque les volumes considérés se trouvent à l'intérieur de locaux, délimités latéralement par des cloisons, inférieurement par un plancher et supérieurement par un plafond, on n'est guère parvenu jusqu'à ce jour à maîtriser les phénomènes de réflexion ou réverbération des bruits à neutraliser sur les différentes parois délimitant lesdits locaux ainsi que sur les autres obstacles, tels que les meubles, présents dans ces locaux.

L'invention telle qu'elle est définie dans les revendications a pour but, surtout de remédier à l'ensemble de ces inconvénients en permettant de protéger un volume disposé à l'intérieur d'un local vis-à-vis des bruits de toute nature produits extérieurement à ce local, et en particulier à partir de certaines directions privilégiées correspondant par exemple à des fenêtres.

A cet effet, les dispositifs de protection acoustique de volumes limités selon l'invention sont essentiellement caractérisés en ce qu'ils comprennent, d'une part, disposées respectivement à deux distances distinctes A et B d'une même batterie fictive réticulée définissant des points i disposés dans le volume à protéger acoustiquement, une batterie de capteurs acoustiques (microphones) recevant les bruits à neutraliser $E_j(t)$ et une batterie de sources acoustiques (haut-parleurs), la distance B étant inférieure à la distance A, et d'autre part, un circuit électronique interposé entre lesdits capteurs et lesdites sources et agencé de façon à élaborer, en des temps inférieurs à $\frac{A-B}{v}$, v étant la vitesse du son dans l'air, pour chaque bruit $E_j(t)$, une pluralité de signaux $S_k(t)$ qui sont appliqués instantanément, respectivement, sur les sources, chaque signal $S_k(t)$ étant égal à :

$$S_k(t) = -\sum_i \sum_j E_j(t) \otimes f_{ji}(t) \otimes g_{ik}(-t),$$

formule dans laquelle :

- chaque fonction $f_{ji}(t)$ est identique à la fonction réciproque $f_{ij}(t)$ qui est la réponse impulsionnelle, préalablement déterminée et enregistrée, correspondant au bruit engendré sur le capteur d'indice j de la batterie de capteurs ci-dessus par l'émission d'une courte impulsion acoustique à partir d'une source supposée placée au point i,
- et chaque fonction $g_{ik}(-t)$ est élaborée à partir de la fonction $g_{ik}(t)$ qui est elle-même identique à la fonction réciproque $g_{ki}(t)$, laquelle est à son tour la réponse impulsionnelle, préalablement déterminée et enregistrée, correspondant au bruit engendré sur un capteur supposé placé au point i, à partir de l'émission d'une courte impulsion acoustique par la source d'indice k de la batterie de sources ci-dessus.

Dans des modes de réalisation préférés, on a recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- la détection des bruits $E_j(t)$ nécessaire à l'élaboration des signaux S est effectuée par échantillonnage à une cadence correspondant sensiblement au huitième de la période la plus courte caractérisant les ondes sonores à traiter, c'est-à-dire à la fréquence la plus élevée de la gamme retenue pour la sensibilité des capteurs,
- le domaine des fréquences auxquelles sont sensibles les capteurs est compris entre 10 et 10 000 Hz,
- le nombre des éléments acoustiques composant chacune des batteries est égal à plusieurs dizaines, étant notamment de l'ordre de 50 à 100, et les distances qui séparent entre eux ces éléments dans chaque batterie est de l'ordre du décimètre,
- la différence entre les distances A et B est de l'ordre de 1 mètre ;
- chaque signal $S_k(t)$ est égal à :

$$S_k(t) = -\sum_j E_j(t) \otimes h_{jk}(t),$$

5 formule dans laquelle $h_{jk}(t)$ est une fonction préalablement déterminée et enregistrée égale à :

$$h_{jk}(t) = \sum_i f_{ij}(t) \otimes g_{ki}(-t).$$

10 L'invention vise également les batteries d'éléments acoustiques spécialement conçues pour équiper les dispositifs ci-dessus ainsi que les procédés pour déterminer les réponses impulsives $f_{ij}(t)$ et $g_{ki}(t)$ qui sont utilisées pour l'élaboration des signaux S.

15 Ces procédés sont essentiellement caractérisés selon l'invention en ce que l'on dispose à proximité du volume à protéger acoustiquement, de façon à définir une partie au moins de ce volume, une batterie réticulée définissant une pluralité de points i en lesquels on place :

- dans un premier temps, des sources acoustiques, les réponses $f_{ij}(t)$ étant alors déterminées au niveau des capteurs permanents ci-dessus lors de l'émission d'impulsions acoustiques courtes par lesdites sources,
- et dans un deuxième temps, des capteurs acoustiques, les réponses $g_{ki}(t)$ étant alors déterminées au niveau de ces capteurs lors de l'émission d'impulsions acoustiques courtes par les sources permanentes ci-dessus.

20 Dans l'un au moins des deux ensembles sources-capteurs utilisés respectivement au cours des deux "temps" successifs des procédés ci-dessus définis, on pourrait permuter les rôles et emplacements respectifs des sources et des capteurs.

25 Dans le cas où l'usage de la fonction $h_{jk}(t)$ ci-dessus est prévu, on procède en outre à une étape préalable d'élaboration et d'enregistrement de cette fonction $h_{jk}(t)$.

L'invention comprend, mises à part ces dispositions principales, certaines autres dispositions qui s'utilisent de préférence en même temps et dont il sera plus explicitement question ci-après.

30 Dans ce qui suit, l'on va décrire un mode de réalisation préféré de l'invention en se référant au dessin ci-annexé d'une manière bien entendu non limitative.

La figure 1, de ce dessin, montre très schématiquement un local équipé d'un dispositif propre à protéger des bruits extérieurs un volume limité de ce local.

La figure 2 est un schéma du circuit électronique compris par ce dispositif.

35 On se propose de protéger vis-à-vis de bruits aléatoires E schématisés par la flèche 1 un volume 2 relativement limité disposé dans un local 3 délimité latéralement par des cloisons 4, inférieurement par un plancher et supérieurement par un plafond.

Les bruits E sont par exemple ceux qui proviennent de l'extérieur du local à travers une fenêtre 5 ouverte ou fermée.

40 Le volume 2 présente par exemple la forme d'une sphère ou d'un cylindre de révolution dont le diamètre est de l'ordre de 1 mètre et dont la portion centrale est destinée à être occupée par la tête d'une personne que l'on désire isoler des bruits E, cette personne étant par exemple assise devant un bureau ou couchée dans un lit.

Pour résoudre le problème posé, on a recours à la technique connue en soi de l'atténuation active qui consiste, pour protéger un point donné vis-à-vis des bruits gênants, à créer en ce point des contre-bruits opposés auxdits bruits et déterminés de façon telle que leur addition à ces bruits en ledit point produise en celui-ci une résultante nulle, c'est-à-dire supprime lesdits bruits.

45 Les réalisations qui ont été proposées dans ce domaine jusqu'à ce jour n'ont donné satisfaction que lorsque les deux conditions suivantes étaient remplies :

- constitution du bruit par un son sinusoïdal pur tel que celui émis par certains moteurs ou instruments de musique,
- propagation exclusive et directe dudit son depuis sa source jusqu'au point à protéger, sans réflexion ou réverbération de ce son sur des obstacles tels que les parois d'un local.

55 La présente invention se propose de résoudre le problème de l'atténuation, voire de la suppression, des bruits indésirables dans le volume 2 ci-dessus défini, et ce même si ces bruits sont aléatoires et s'ils sont réfléchis ou réverbérés par les parois 4 du local 3.

A cet effet, on procède de la façon suivante.

On interpose entre le volume 2 à protéger acoustiquement et la source des bruits E vis-à-vis desquels on désire assurer ladite protection deux "barrières" ou "batteries" 6 et 8 composées chacune d'éléments acoustiques distincts maintenus séparés les uns des autres par une ossature rigide (respectivement 7,9) ajourée vis-à-vis des sons.

Ces deux barrières ou batteries 6 et 8 sont écartées l'une de l'autre d'une distance moyenne A.

La première 6 de ces deux batteries définit un réseau réticulé, en général tridimensionnel, de points ou "noeuds" distincts $i-1, i, i+1...$ occupant au moins en partie le volume 2 à protéger acoustiquement.

Les éléments acoustiques qu'elle comporte sont, dans un premier temps, des sources acoustiques (haut-parleurs ou autres) $10_{i-1}, 10_i, 10_{i+1}...$ qui sont localisées auxdits noeuds.

Pour ce qui est des éléments acoustiques compris par la seconde barrière 8, il s'agit de capteurs (microphones) $11_{j-1}, 11_j, 11_{j+1}...$ qui sont localisés en différents points ou "noeuds" $j-1, j, j+1...$ de ladite barrière.

On détermine ensuite chacune des lois de réponse impulsionnelle en fonction du temps t $f_{ij}(t)$ correspondant à chacun des bruits engendrés sur chaque capteur 11_j par l'émission d'une courte impulsion acoustique à partir de chaque source 10_i .

On rappelle ici le théorème de la réciprocité selon lequel la réponse impulsionnelle $f_{ij}(t)$ telle que définie ci-dessus est exactement identique à la réponse impulsionnelle inverse $f_{ji}(t)$ qui serait recueillie par des capteurs supposés disposés exactement aux mêmes emplacements i que les sources 10_i ci-dessus en réponse à l'émission de courtes impulsions acoustiques à partir de sources supposées disposées en les différents points j en remplacement des capteurs 11_j ci-dessus.

Cette réciprocité tient compte en particulier de toutes les réflexions ou réverbérations d'ondes acoustiques par les parois du local 3 ou par d'autres obstacles contenus dans ce local, tels que des meubles, réflexions qui sont schématisées sur le dessin par les traits R.

En application dudit théorème, on calcule le bruit résultant qui parviendrait à chacun des points i de la batterie 6 pour chaque bruit global donné $E_j(t)$ reçu en chacun des points j .

Ce bruit résultant est le produit de convolution $E_j(t) \otimes f_{ji}(t)$.

On détermine alors le bruit total $F_i(t)$ qui parviendrait en chacun des points i en réponse aux bruits $E_j(t)$ reçus par l'ensemble des points j , bruits qui sont précisément ceux symbolisés par la flèche 1 ci-dessus.

Ce bruit total $F_i(t)$ est égal à :

$$F_i(t) = \sum_j E_j(t) \otimes f_{ji}(t) \quad (I).$$

On remplace alors chacune des sources 10_i de la batterie 6 par des capteurs acoustiques 12_i disposés exactement en les mêmes emplacements i que ces sources.

On dispose sensiblement à une distance B de la zone médiane de la batterie 6, B étant une longueur inférieure à A, une troisième barrière ou batterie 13 du même genre que les précédentes : cette batterie 13 est constituée par une ossature rigide 14 maintenant écartées les unes des autres une pluralité de sources acoustiques $15_{k-1}, 15_k, 15_{k+1}...$ localisées en des points ou "noeuds" distincts $k-1, k, k+1...$ de ladite ossature.

On détermine ensuite chaque réponse impulsionnelle $g_{ki}(t)$ correspondant au bruit qui est engendré sur le capteur 12_i par l'émission d'une courte impulsion acoustique à partir de la source 15_k .

En vertu du théorème de la réciprocité rappelé ci-dessus, chaque fonction $g_{ki}(t)$ est rigoureusement identique à la fonction réciproque $g_{ik}(t)$.

Par conséquent, on peut dire que le bruit global $G_k(t)$ qui serait créé en chacun des points k de la batterie 13 en réponse aux bruits $F_i(t)$ supposés émis à partir des points i par des sources qui seraient localisées en ces points, serait égal à :

$$G_k(t) = \sum_i F_i(t) \otimes g_{ik}(t) \quad (II).$$

Cette formule est précieuse car elle permet de déterminer d'une manière extrêmement précise les bruits qui résulteraient, au niveau de la batterie 13, de la production des bruits $F_i(t)$ au niveau des divers points i de la première batterie 6.

Or ces derniers bruits $F_i(t)$ sont précisément ceux qui sont engendrés au niveau desdits points i par l'application sur le local 3 des bruits indésirables $E_j(t)$ à neutraliser.

Pour élaborer les contre-bruits désirés, destinés à neutraliser toute nuisance des bruits incidents indésirables $E_j(t)$ au niveau de ces points i , c'est-à-dire à annuler ou tout au moins fortement atténuer les bruits $F_i(t)$ créés au niveau des points i à partir de ces bruits indésirables, il suffit :

- de remplacer comme variable dans la loi de réponse $g_{ik}(t)$ qui intervient dans la formule II ci-dessus la variable (t) par la variable (-t),
- et d'appliquer l'opposé $S_k(t)$ de chaque signal résultant sur les sources 15_k correspondantes.

Il se trouve en effet que, si l'on émet en chacun des points k des contre-signaux $g_{ik}(-t)$, l'onde correspondante émise vers le point i se propage d'une manière exactement inverse de celle correspondant à l'émission d'une courte impulsion acoustique à partir dudit point i vers ledit point k , et cette onde vient donc se focaliser au point i en y reconstituant exactement ladite courte impulsion, malgré les déformations diverses des fronts d'ondes qui ont pu être occasionnées dans les deux sens par les différentes réflexions acoustiques dues aux parois et autres obstacles du local.

Plus précisément, le front d'onde inverse correspondant à ces contre-signaux occupe successivement les diverses positions qu'occupait dans le passé le front d'onde "direct" initial, le phénomène observé étant comparable à la projection d'un film cinématographique à l'envers.

Les signaux $S_k(t)$ en question peuvent alors être considérés comme donnés par la formule ci-après :

$$S_k(t) = -\sum_j E_j(t) \otimes f_{ji}(t) \otimes g_{ik}(-t) \quad (III).$$

L'application de ces signaux $S_k(t)$ sur les sources 15_k permet d'engendrer au niveau des points i des contre-bruits C -ou $C_i(t)$ - qui sont susceptibles d'annuler les bruits $F_i(t)$ produits en ces points par les bruits indésirables $E_j(t)$.

Le volume 2 demeure alors silencieux et inaccessible auxdits bruits $E_j(t)$, quelles que soient leurs natures et intensités et quelles que soient les réflexions ou réverbérations subies par certaines de leurs composantes avant de parvenir audit volume.

Bien entendu, après avoir déterminé les lois de réponse impulsionnelle $g_{ki}(t)$, on peut totalement supprimer la batterie 6, ce qui dégage complètement les abords du volume 2 acoustiquement isolé.

C'est là un important avantage de la présente invention.

Pour obtenir la neutralisation désirée de chaque bruit $F_i(t)$, il convient que les contre-bruits C parviennent au niveau des points i en même temps que ces bruits.

C'est ici qu'intervient la différence entre les deux distances A et B séparant respectivement la batterie 6 des batteries 8 et 13.

On prend soin que cette différence soit suffisante pour que les contre-bruits puissent être élaborés électroniquement pendant le temps que les sons mettent pour parcourir la longueur $A-B$.

Il se trouve que, si cette longueur est de l'ordre du mètre, le temps résultant (3 millisecondes) est largement suffisant pour ladite élaboration électronique.

C'est là l'une des constatations originales qui ont permis la conception de la présente invention.

Les circuits électroniques en question ont été représentés par le rectangle 16 sur la figure 1.

Ils ont été un peu plus détaillés sur la figure 2 où l'on voit une unité de mémorisation et calcul 17 reliée :

- d'une part, à chacun des capteurs acoustiques 11_j par une chaîne comprenant un amplificateur 18_j et un convertisseur analogique-numérique 19_j ,
- et d'autre part à chacune des sources 15_k par une chaîne comprenant un convertisseur numérique-analogique 20_k et un amplificateur 21_k .

Dans la pratique, on n'exploite pas de façon continue les bruits $E_j(t)$ qui sont enregistrés par les capteurs 11_j .

On procède par échantillonnage, à une cadence qui correspond sensiblement au huitième de la période la plus courte caractérisant les ondes sonores à traiter, c'est-à-dire à la fréquence la plus élevée de la gamme retenue pour la sensibilité des capteurs.

Le domaine des fréquences auxquelles sont sensibles les capteurs est avantageusement compris entre 10 Hz et 10 000 Hz.

Dans ces conditions, la fréquence la plus élevée étant de 10 kHz, qui correspond à une période de 100 microsecondes, la fréquence d'échantillonnage est égale à 80 kHz, ce qui correspond à un échantillonnage effectué toutes les 12 microsecondes.

Pour ce qui est des distances séparant les différents éléments acoustiques d'une même batterie ou barrière, on donne avantageusement à ces distances une valeur égale à la moitié de la longueur d'onde la plus petite de la gamme des fréquences concernées.

C'est ainsi que la distance en question peut être de l'ordre de 10 centimètres, ce qui assure une protection acoustique spécialement bonne par rapport aux composantes de basse fréquence des bruits à neutraliser : la longueur d'onde est en effet de 33 centimètres pour une fréquence de 1000 Hz.

Pour ce qui est du nombre des éléments acoustiques composant chacune des barrières ou batteries, ce nombre est égal à plusieurs dizaines, étant notamment de l'ordre de 50 à 100.

Les produits de convolution, de ces différents nombres, qui interviennent dans la formule III ci-dessus sont alors relativement élevés, ce qui peut impliquer l'utilisation d'organes de calcul relativement puissants.

On pourra affecter à cet effet à chacun des capteurs 11_j un processeur de signal numérique du type DSP (Digital

Signal Processor).

Selon un perfectionnement avantageux qui va être maintenant décrit, on peut simplifier considérablement le travail électronique nécessaire.

Ce perfectionnement est basé sur les considérations suivantes.

La formule III ci-dessus peut également s'écrire :

$$S_k(t) = -\sum_j E_j(t) \otimes \sum_i f_{ij}(t) \otimes g_{ik}(-t) \quad (IV).$$

Si on appelle $h_{jk}(t)$ le second membre de cette convolution (c'est-à-dire si

$$h_{jk}(t) = \sum_i f_{ij}(t) \otimes g_{ik}(-t),$$

la la formule IV devient :

$$S_k(t) = -\sum_j E_j(t) \otimes h_{jk}(t) \quad (V).$$

Cette formule est relativement simple puisqu'elle ne fait plus intervenir aucun des points i .

Certes ces points i interviennent lors de l'élaboration de la fonction h .

Mais cette élaboration peut être effectuée préalablement au cours d'une étape préparatoire suivie d'une mise en mémoire de la fonction h élaborée, ce qui est beaucoup plus souple que la solution précédente.

Dans la pratique, on procède comme suit :

- on commence par mesurer chaque réponse impulsionnelle $f_{ij}(t)$ sur une période de temps T , à compter du temps $t=0$ correspondant à l'émission de la courte impulsion acoustique initiale à partir du point i , ladite période s'étendant suffisamment pour contenir la totalité de la réponse impulsionnelle considérée, correspondant aussi bien à la trajectoire directe qu'aux réflexions parasites,
- on mesure de même chaque réponse impulsionnelle $g_{ki}(t)$ sur la même période T ,
- on complète les deux fonctions ainsi mesurées par des 0 sur respectivement les deux périodes s'étendant de $t=-\infty$ au temps $t=0$ et du temps $t=T$ au temps $t=+\infty$,
- on élabore et on mémorise la fonction "inverse" $g_{ik}(-t)$,
- on calcule la fonction

$$h_{jk}(T) = \sum_i f_{ij}(t) \otimes g_{ik}(-t),$$

- on mémorise les fonctions h ainsi calculées en remarquant que celles-ci sont symétriques en jk du fait que les deux réponses impulsionnelles $f_{ij}(t)$ et $g_{ki}(t)$ sont elles-mêmes symétriques, respectivement en ij et en ik ,
- c'est enfin avec la fonction $h_{jk}(t)$ ainsi mémorisée que l'on convolue les bruits $E_j(t)$ à neutraliser, conformément à la formule V ci-dessus, afin de déterminer les signaux opposés $S_k(t)$.

Pour mettre en évidence les avantages apportés par le perfectionnement qui vient d'être décrit, on donne ci-après un exemple numérique à titre bien entendu purement illustratif et non limitatif de l'invention :

- la batterie 8 comprend un réseau de 8×8 points j , soit 64 points j ,
- de même la batterie 13 comprend un réseau de 8×8 points k , soit 64 points k ,
- la batterie 6 comprend un réseau maillé tridimensionnel cubique de $8 \times 8 \times 8 = 512$ points i ,
- le temps T est égal à 100ms, l'échantillonnage est effectué à une cadence de 100kHz, ce qui correspond à un nombre de 10 000 échantillons pour chaque relevé, et la résolution de chaque échantillon est de 12 bits, ce qui correspond à 1,5 octet : chaque relevé fait donc intervenir 15 000 octets.

Si l'on exploite directement la formule générale III ci-dessus donnée, il faut mettre en mémoire chacune des réponses impulsionnelles $f_{ij}(t)$ et $g_{ik}(-t)$ soit au total $64 \times 512 = 32768$ relevés pour chacune des deux familles : si l'on tient compte de la symétrie, on peut diviser en gros ce nombre par deux, ce qui correspond encore à un nombre de relevés

supérieur à 16 000 pour chaque famille.

Le produit de convolution de ces deux familles de réponses impulsionnelles et le double produit de convolution dudit produit avec la fonction représentative des bruits $E_j(t)$ impliquent l'utilisation de calculateurs puissants.

Dans le cas du perfectionnement ci-dessus décrit,

- l'étape préparatoire d'élaboration et de mémorisation de la fonction h fait intervenir la sommation de $i=1$ à $i=512$ de 512 produits de convolution $f_{ij}(t) \otimes g_{ik}(-t)$: le résultat de cette sommation, qui constitue la fonction h , est mémorisé,
- puis l'étape de création réelle des contre-bruits S n'a plus qu'à faire intervenir la détermination de la fonction h ainsi mémorisée pour chacun des couples de variables jk , c'est-à-dire, compte tenu de la symétrie du système en jk , pour un nombre total de tels couples de l'ordre de 2 080 seulement.

En définitive, le stockage à effectuer pour la mise en oeuvre réelle de l'invention comprend 2 080x15 000 octets, c'est-à-dire 31,20 méga-octets, ce qui représente un nombre tout à fait raisonnable.

En somme, on peut dire :

- qu'à l'issue de la phase préparatoire, pour l'exemple numérique adopté, le nombre des fonctions à mémoriser est de l'ordre de 2 000 seulement alors qu'il était de l'ordre de 32 000 selon la formule générale,
- et que, si l'on considère que le produit de convolution à effectuer dans chaque cas admet deux facteurs dont le premier est $E_j(t)$, le second facteur est défini par quelque 2 000 fonctions dans le premier cas alors que, dans le cas général, il fait intervenir quelque 16 000x16 000=256 millions de fonctions.

En suite de quoi, et quel que soit le mode de réalisation adopté, on obtient finalement un dispositif qui permet de protéger efficacement des bruits extérieurs un volume donné, dispositif dont la constitution et le fonctionnement résultent suffisamment de qui précède.

Ce dispositif présente par rapport à ceux antérieurement connus de nombreux avantages et en particulier celui d'assurer une protection acoustique même vis-à-vis des bruits aléatoires et même si le volume considéré est disposé à l'intérieur d'un local dont les parois ne sont pas spécialement traitées pour s'opposer aux réflexions acoustiques.

Comme il va de soi, et comme il résulte d'ailleurs déjà de ce qui précède, l'invention ne se limite nullement à ceux de ses modes d'application et de réalisation qui ont été plus spécialement envisagés ; elle en embrasse, au contraire, toutes les variantes, notamment,

- celles où les microphones 11j et/ou les haut-parleurs 15k utilisés pour la création des contre-bruits ne seraient pas les mêmes que ceux utilisés préalablement pour la calibration ou mise au point de l'installation en présence de la batterie 6, cas dans lequel les facteurs correctifs appropriés seraient introduits dans les calculs pour tenir compte des différences entre les réponses des appareils utilisés,
- celles où le phénomène variable créé par les haut-parleurs et/ou celui mesuré par les microphones ne serait pas une pression, mais une vitesse de molécules d'air, cas dans lequel les facteurs correctifs appropriés seraient introduits dans les calculs, le passage de l'une de ces variables à l'autre étant obtenu par dérivation ou intégration temporelle,
- et celles où, au cours de l'élaboration de l'une au moins des fonctions f et g , les rôles et emplacements des sources et des capteurs seraient permutés par rapport à ceux exploités ci-dessus : en effet, vu le théorème de la réciprocité ci-dessus rappelé, la fonction $f_{ij}(t)$, étant égale à $f_{ji}(t)$, peut être élaborée indifféremment en mettant en oeuvre des impulsions acoustiques courtes émises des différents points i et en analysant les réponses impulsionnelles correspondantes aux points j ou en mettant en oeuvre des impulsions acoustiques courtes émises des différents point j et en analysant les réponses impulsionnelles correspondantes aux points i ; en particulier on pourrait envisager de placer uniquement des sources acoustiques aux points i pour déterminer toutes les réponses impulsionnelles $f_{ij}(t)$ et $g_{ik}(t)$, les sources 15_k étant alors remplacées par des capteurs aux points k pour la détermination des réponses g .

Revendications

1. Dispositif pour protéger des bruits extérieurs un volume donné, caractérisé en ce qu'il comprend, d'une part, disposées respectivement à deux distances distinctes A et B d'une même batterie fictive réticulée (6) définissant des points i disposés dans le volume (2) à protéger acoustiquement, une batterie (8) de capteurs acoustiques (11_j) recevant les bruits à neutraliser $E_j(t)$ et une batterie (13) de sources acoustiques (15_k), la distance B étant inférieure à la distance A, et d'autre part, un circuit électronique (16) interposé entre lesdits capteurs et lesdites sources et

agencé de façon à élaborer, en des temps inférieurs à $\frac{A-B}{v}$, v étant la vitesse du son dans l'air, pour chaque bruit $E_j(t)$, une pluralité de signaux $S_k(t)$ qui sont appliqués instantanément, respectivement, sur les sources (15_k), chaque signal $S_k(t)$ étant égal à :

$$S_k(t) = -\sum_i \sum_j E_j(t) \otimes f_{ji}(t) \otimes g_{ik}(-t),$$

formule dans laquelle :

- chaque fonction $f_{ji}(t)$ est identique à la fonction réciproque $f_{ij}(t)$ qui est la réponse impulsionnelle, préalablement déterminée et enregistrée, correspondant au bruit engendré sur le capteur (11_j) d'indice j de la batterie de capteurs ci-dessus par l'émission d'une courte impulsion acoustique à partir d'une source (10_i) supposée placée au point i ,
- et chaque fonction $g_{ik}(-t)$ est élaborée à partir de la fonction $g_{ik}(t)$ qui est elle-même identique à la fonction réciproque $g_{ki}(t)$, laquelle est à son tour la réponse impulsionnelle, préalablement déterminée et enregistrée, correspondant au bruit engendré sur un capteur (12_i) supposé placé au point i , à partir de l'émission d'une courte impulsion acoustique par la source (15_k) d'indice k de la batterie de sources ci-dessus.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la détection des bruits $E_j(t)$ nécessaire à l'élaboration des signaux S est effectuée par échantillonnage à une cadence correspondant sensiblement au huitième de la période la plus courte caractérisant les ondes sonores à traiter, c'est-à-dire à la fréquence la plus élevée de la gamme retenue pour la sensibilité des capteurs.

3. Dispositif selon l'une quelconque des précédentes revendications, caractérisé en ce que le domaine des fréquences auxquelles sont sensibles les capteurs (11_j) est compris entre 10 et 10 000 Hz.

4. Dispositif selon l'une quelconque des précédentes revendications, caractérisé en ce que le nombre des éléments acoustiques (10_i, 11_j, 12_i, 15_k) composant chacune des batteries (6, 8, 13) est égal à plusieurs dizaines, étant notamment de l'ordre de 50 à 100, et en ce que les distances qui séparent entre eux ces éléments dans chaque batterie est de l'ordre du décimètre.

5. Dispositif selon l'une quelconque des précédentes revendications, caractérisé en ce que la différence entre les distances A et B est de l'ordre de 1 mètre.

6. Dispositif selon l'une quelconque des précédentes revendications, caractérisé en ce que chaque signal $S_k(t)$ est égal à

$$S_k(t) = -\sum_j E_j(t) \otimes h_{jk}(t),$$

formule dans laquelle $h_{jk}(t)$ est une fonction préalablement déterminée et enregistrée égale à :

$$h_{jk}(t) = \sum_i f_{ji}(t) \otimes g_{ik}(-t).$$

7. Procédé pour déterminer les réponses impulsionnelles $f_{ji}(t)$ et $g_{ki}(t)$ qui sont utilisées pour l'élaboration des signaux S selon l'une quelconque des précédentes revendications, caractérisé en ce que l'on dispose à proximité du volume (2) à protéger acoustiquement, de façon à délimiter une partie au moins de ce volume, une batterie réticulée (6) définissant une pluralité de points i en lesquels on place : dans un premier temps, des sources acoustiques (10_i), les réponses $f_{ji}(t)$ étant alors déterminées au niveau des capteurs permanents ci-dessus (11_j) lors de l'émission d'impulsions acoustiques courtes par lesdites sources ; et dans un deuxième temps, des capteurs acoustiques (12_i), les réponses $g_{ki}(t)$ étant alors déterminées au niveau de ces capteurs lors de l'émission d'impulsions acoustiques courtes par les sources permanentes ci-dessus (15_k).

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que, dans l'un au moins des deux ensembles sources (10_i ; 15_k)-capteurs (11_j ; 12_i) utilisés respectivement au cours des deux "temps" successifs, on permute les rôles et

emplacements respectifs des sources et capteurs.

9. Batterie réticulée d'éléments acoustiques (10_i; 12_i) pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 7 et 8.

10. Procédé pour mettre en oeuvre le dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'on procède à une étape préalable d'élaboration et d'enregistrement de la fonction $h_{jk}(t)$.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Schutz eines gegebenen Raumbereichs vor äußeren Geräuschen, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie einerseits eine Anordnung (8) von Schallaufnehmern (11_j), die die zu neutralisierenden Geräusche $E_j(t)$ empfängt, und eine Anordnung (13) von Schallquellen (15_k) umfaßt, welche in zwei unterschiedlichen Abständen A bzw. B von ein und derselben netzförmigen Ersatzanordnung (6) angeordnet sind, die in dem akustisch zu schützenden Raumbereich (2) angeordnete Punkte i definiert, wobei der Abstand B kleiner als der Abstand A ist, und daß sie andererseits eine elektrische Schaltung (16) umfaßt, die zwischen die Aufnehmer und die Quellen geschaltet ist und dazu ausgelegt ist, für jedes Geräusch $E_j(t)$ in Zeiten, die kleiner als $(A-B)/v$ sind, wobei v die Schallgeschwindigkeit in der Luft ist, eine Mehrzahl von Signalen $S_k(t)$ auszuarbeiten, welche jeweils momentan an die Quellen (15_k) angelegt werden, wobei jedes Signal $S_k(t)$ gleich ist:

$$\bar{S}_k(t) = -\sum_i \sum_j E_j(t) \theta f_{ji}(t) \theta g_{ik}(-t),$$

in welcher Formel:

- jede Funktion $f_{ji}(t)$ mit der reziproken Funktion $f_{ij}(t)$ identisch ist, welche die Impulsreaktion ist, die vorher bestimmt und gespeichert worden ist und die dem Geräusch entspricht, welches am Aufnehmer (11_j) mit dem Index j der obigen Anordnung von Aufnehmern durch die Aussendung eines kurzen Schallimpulses aus einer Quelle (10_i) erzeugt wird, die als am Punkt i angeordnet angenommen wird,
 - und jede Funktion $g_{ik}(-t)$ ausgehend von der Funktion $g_{ki}(t)$ ausgearbeitet ist, welche wiederum identisch mit der reziproken Funktion $g_{ki}(t)$ ist, die ihrerseits die Impulsreaktion ist, die vorher bestimmt und gespeichert worden ist und die dem Geräusch entspricht, welches an einem als am Punkt i angeordnet angenommenen Aufnehmer (12_j) ausgehend von der Aussendung eines kurzen Schallimpulses durch die Quelle (15_k) mit dem Index k der obigen Anordnung von Quellen erzeugt wird.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die zur Ausarbeitung der Signale S notwendige Erfassung der Geräusche $E_j(t)$ durch Abtastung mit einer Frequenz erfolgt, die im wesentlichen einem Achtel der kürzesten, die zu behandelnden Schallwellen kennzeichnenden Periode entspricht, d.h. mit der höchsten Frequenz aus dem für die Empfindlichkeit der Aufnehmer erhaltenen Bereich.
3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Bereich der Frequenzen, für die die Aufnehmer (11_j) empfindlich sind, zwischen 10 und 10 000 Hz enthalten ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Zahl der akustischen Elemente (10_i, 11_j, 12_i, 15_k), die jede der Anordnungen (6, 8, 13) bilden, etwa ein Mehrfaches von Zehn beträgt und insbesondere in der Größenordnung zwischen 50 und 100 liegt, und daß die Abstände, die diese Elemente in jeder Anordnung voneinander trennen, in der Größenordnung eines Dezimeters liegen.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Unterschied zwischen den Abständen A und B in der Größenordnung von 1 Meter liegt.
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß jedes Signal $S_k(t)$ gleich

$$S_k(t) = -\sum_j E_j(t) \theta h_{jk}(t)$$

ist, in welcher Formel $h_{jk}(t)$ eine vorher bestimmte und gespeicherte Funktion gleich:

$$h_{jk}(t) = \sum_i f_{ij}(t) \otimes g_{ik}(-t)$$

ist.

7. Verfahren zur Bestimmung der Impulsreaktionen $f_{ij}(t)$ und $g_{ki}(t)$, welche für die Ausarbeitung der Signale S nach einem der vorhergehenden Ansprüche verwendet werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß man in der Nähe des akustisch zu schützenden Raumbereichs (2) zur Abgrenzung wenigstens eines Teils dieses Raumbereichs eine netzförmige Anordnung (6) vorsieht, die eine Mehrzahl von Punkten i definiert, an denen man anordnet: in einem ersten Zeitabschnitt, akustische Quellen (10_i), wobei die Reaktionen $f_{ij}(t)$ anschließend im Bereich der obigen verbleibenden Aufnehmer (11_j) während der Aussendung kurzer akustischer Impulse durch die Quellen bestimmt werden; und in einem zweiten Zeitabschnitt, akustische Aufnehmer (12_i), wobei die Reaktionen $g_{ki}(t)$ anschließend im Bereich dieser Aufnehmer während der Aussendung kurzer akustischer Impulse durch die obigen verbleibenden Quellen (15_k) bestimmt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß man in wenigstens einer der beiden Gruppen Quellen (10_i ; 15_k) - Aufnehmer (11_j ; 12_i), die jeweils im Verlauf der beiden aufeinanderfolgenden "Zeitabschnitte" verwendet werden, die jeweiligen Rollen und Aufstellungsorte der Quellen und Aufnehmer vertauscht.
9. Eine netzförmige Anordnung akustischer Elemente (10_i ; 12_i) für die Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 7 und 8.
10. Verfahren zur Benutzung der Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß man einen vorherigen Abschnitt der Ausarbeitung und Speicherung der Funktion $h_{jk}(t)$ vornimmt.

Claims

1. Device for protecting a given volume from outside noises, characterized in that it comprises, on the one hand, arranged respectively at two distinct distances A and B from a same reticulate fictitious array (6) defining points i arranged in the volume (2) to be acoustically protected, an array (8) of acoustic sensors (11_j) receiving the noises to be cancelled $E_j(t)$ and an array (13) of acoustic sources (15_k), the distance B being less than the distance A, and on the other hand, an electronic circuit (16) interposed between the said sensors and the said sources and configured so as to calculate, in time spans less than $\frac{A-B}{v}$, v being the speed of sound in air, for each noise $E_j(t)$, a plurality of signals $S_k(t)$ which are applied instantaneously, respectively, to the sources (15_k), each signal $S_k(t)$ being equal to:

$$S_k(t) = -\sum_i \sum_j E_j(t) \otimes f_{ji}(t) \otimes g_{ik}(-t),$$

a formula in which:

- each function $f_{ji}(t)$ is identical to the reciprocal function $f_{ij}(t)$ which is the impulse response, determined and recorded beforehand, corresponding to the noise generated at the sensor (11_j) of index j of the above array of sensors through the emission of a short acoustic pulse from a source (10_i) assumed stationed at the point i,
- and each function $g_{ik}(-t)$ is calculated from the function $g_{ik}(t)$ which is itself identical to the reciprocal function $g_{ki}(t)$, which is in turn the impulse response, determined and recorded beforehand, corresponding to the noise generated at a sensor (12_i) assumed stationed at point i, from the emission of a short acoustic pulse by the source (15_k) of index k of the above array of sources.

2. Device according to Claim 1, characterized in that the detection of the noises $E_j(t)$ required for calculation of the signals S is performed by sampling at a rate corresponding substantially to one eighth of the shortest period characterizing the sound waves to be processed, that is to say to the highest frequency of the range selected for the sensitivity of the sensors.

3. Device according to either one of the preceding claims, characterized in that the spread of frequencies to which the sensors (11_j) are sensitive is included between 10 and 10,000 Hz.
4. Device according to any one of the preceding claims, characterized in that the number of acoustic elements (10_i, 11_j, 12_i, 15_k) making up each of the arrays (6, 8, 13) is equal to several tens, being especially of the order of 50 to 100 and in that the distances which mutually separate these elements within each array is of the order of a decimetre.
5. Device according to any one of the preceding claims, characterized in that the difference between the distances A and B is of the order of 1 metre.
6. Device according to any one of the preceding claims, characterized in that each signal S_k(t) is equal to

$$S_k(t) = -\sum_j E_j(t) \otimes h_{jk}(t),$$

in which formula h_{jk}(t) is a function determined and recorded beforehand equal to:

$$h_{jk}(t) = \sum_i f_{ij}(t) \otimes g_{ik}(-t).$$

7. Process for determining the impulse responses f_{ij}(t) and g_{ki}(t) which are used for the calculation of the signals S according to any one of the preceding claims, characterized in that in proximity to the volume (2) to be acoustically protected there is arranged, in such a way as to delimit a portion at least of this volume, a reticulate array (6) defining a plurality of points i at which are stationed: in a first time span, acoustic sources (10_i), the responses f_{ij}(t) then being determined in the vicinity of the above permanent sensors (11_j) during the emission of short acoustic pulses by the said sources, and in a second time span, acoustic sensors (12_i), the responses g_{ki}(t) then being determined in the vicinity of these sensors during the emission of short acoustic pulses by the above permanent sources (15_k).
8. Process according to Claim 7, characterized in that, within at least one of the two source (10_i; 15_k) - sensor (11_j; 12_i) assemblies used in the course of the two successive "time spans" respectively, the respective roles and locations of the sources and sensors are interchanged.
9. Reticulate array of acoustic elements (10_i; 12_i) for the implementation of the process according to either one of Claims 7 and 8.
10. Process for implementing the device according to Claim 6, characterized in that a prior step of calculation and recording of the function h_{jk}(t) is undertaken.

FIG.1.

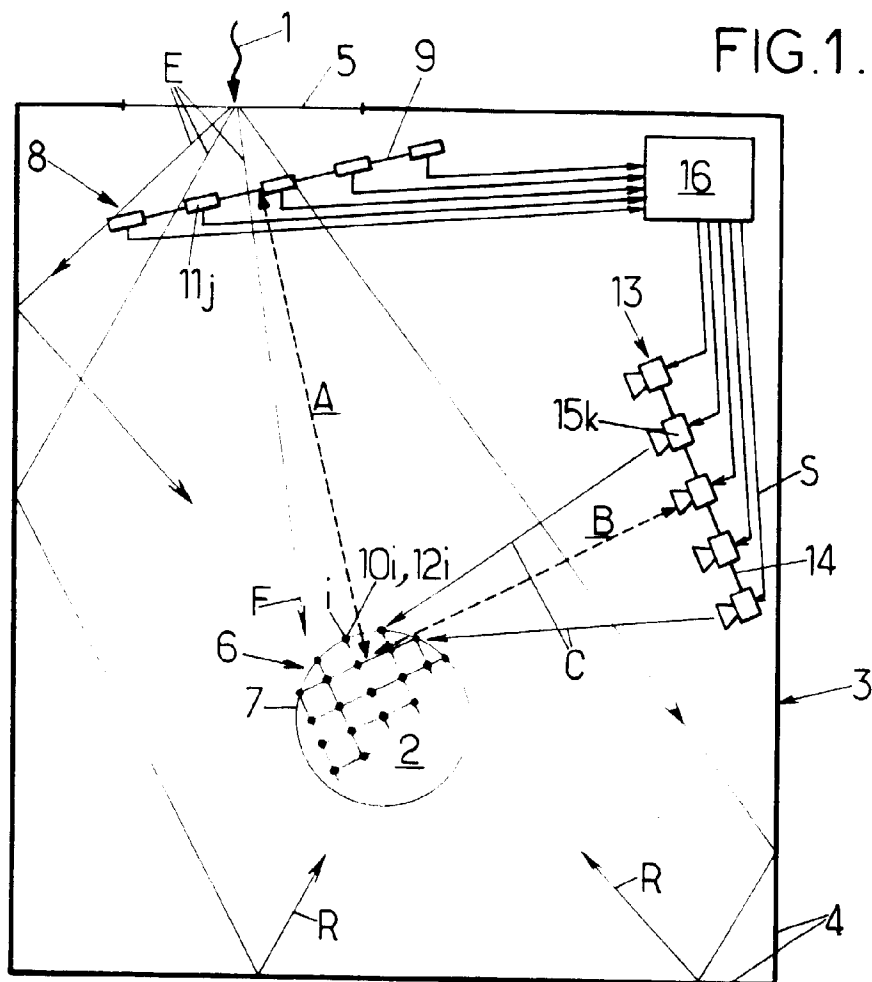


FIG.2.

