



(43) Date de la publication internationale
23 octobre 2008 (23.10.2008)

PCT

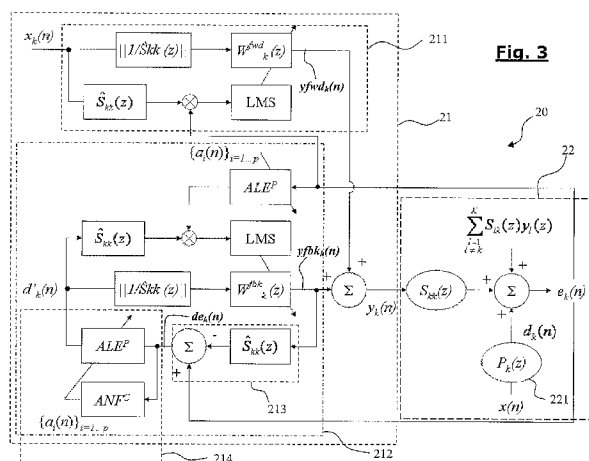
(10) Numéro de publication internationale
WO 2008/125774 A2

- | | |
|---|--|
| <p>(51) Classification internationale des brevets :
 G10K 11/178 (2006.01)</p> <p>(21) Numéro de la demande internationale :
 PCT/FR2008/050371</p> <p>(22) Date de dépôt international : 4 mars 2008 (04.03.2008)</p> <p>(25) Langue de dépôt : français</p> <p>(26) Langue de publication : français</p> <p>(30) Données relatives à la priorité :
 0701718 9 mars 2007 (09.03.2007) FR</p> <p>(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : SAS RNS ENGINEERING [FR/FR]; Rond-Point Benjamin Franklin, F-34000 Montpellier (FR).</p> | <p>(72) Inventeurs; et</p> <p>(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : ODENT, Jean-Claude [FR/FR]; Fontaine de Tivoli A 137, 230, avenue Léonard de Vinci, F-34970 Lattes (FR). MAZEAUD, Benoît [FR/FR]; 2, place Gerson, F-69005 Lyon (FR).</p> <p>(74) Mandataire : PONTET ALLANO & ASSOCIES VERSAILLES (CPI); 6, avenue du Général de Gaulle, F-78000 Versailles (FR).</p> <p>(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HU, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK,</p> |
|---|--|

[Suite sur la page suivante]

- (54) Title:** METHOD FOR THE ACTIVE REDUCTION OF SOUND DISTURBANCE

- (54) Titre : PROCEDE DE REDUCTION ACTIVE D'UNE NUISANCE SONORE**



(57) Abstract: The invention relates to a method and a system for the active reduction, at a predetermined area, of the energy of a sound signal ($d_k(n)$), also called a diffused noise signal, generated at said area by a primary signal ($x_k(n)$), or noise signal, by the emission of a plurality of counter-noise signals ($y_k(n)$) having an effect antagonistic to the diffused noise signal ($d_k(n)$), each of said counter-noise signals ($y_k(n)$) including a feedback counter-noise signal ($y_{fbk_k}(n)$) and a feed-forward counter-noise signal ($y_{fwd_k}(n)$). The method of the invention comprises detecting the periodical components of diffused noise signal ($d_k(n)$) for adjusting the feedback counter-noise signal ($y_{fbk_k}(n)$), and modelling the inverse of the secondary path for adjusting the feedback counter-noise ($y_{fbk_k}(n)$) and feed-forward counter-noise ($y_{fwd_k}(n)$) signals. The invention can be implemented to any type of industrial or non-industrial noise and in any location such as working places and relaxation places.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé et un système de réduction active au niveau d'une zone déterminée de l'énergie d'un signal sonore ($d_k(n)$), dit signal de bruit propagé, engendré au niveau de ladite zone par un signal primaire ($x_k(n)$), dit signal de bruit, par émission d'une pluralité de signaux de contre-bruit ($y_k(n)$), d'un effet antagoniste au signal de bruit propagé ($d_k(n)$), chacun de ces signaux de contre-bruit ($y_k(n)$), étant composé d'un signal de contre-bruit feedback ($y_{fbk_k}(n)$) et d'un signal de contre-bruit feedforward ($y_{fwd_k}(n)$).

[Suite sur la page suivante]



LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

Le procédé selon l'invention comprend une détection des composantes périodiques du signal de bruit propagé ($d_k(n)$) pour l'ajustement du signal de contre-bruit feedback ($y_{fbk_k}(n)$), et une modélisation de l'inverse du chemin secondaire pour l'ajustement des signaux de contre-bruit feedback ($y_{fbk_k}(n)$) et feedforward ($y_{fwd_k}(n)$). L'invention peut être mise en oeuvre pour tout type de bruits industriels ou non, et dans tous les lieux aussi bien des lieux de travail que des lieux de détente.

« Procédé de réduction active d'une nuisance sonore »

La présente invention concerne un procédé de réduction de nuisances sonores par contrôle actif. Elle vise également un système mettant en
5 oeuvre le procédé selon l'invention.

L'invention vise, en particulier, à réduire les nuisances sonores dans une zone déterminée par un procédé de réduction active. Les nuisances sonores peuvent être toutes sortes d'ondes acoustiques gênantes qui peuvent être considérées comme étant du bruit dans une zone déterminée.
10 Ces nuisances peuvent être de tous types et de fréquences pouvant aller de quelques hertz à quelques milliers de hertz. Elle peuvent être créées par un dispositif quelconque en fonctionnement. Dans le cas, par exemple, d'une enceinte fermée, les nuisances peuvent être générées par des dispositifs qui se situent à l'intérieur de cette enceinte. Elles peuvent également être
15 causées par des sources extérieures à l'enceinte lorsque cette dernière est, par exemple, située à proximité de sites tels qu'un aéroport, une autoroute, une voie ferrée, etc.

Les systèmes actuels de réduction active de nuisances sonores permettent d'atténuer ces nuisances par deux types de procédés. Le
20 premier, appelé feedforward, nécessite une information préalable du signal de bruit qui est la cause de la nuisance sonore à réduire. La détection du signal de bruit s'effectue en amont de la zone de traitement par réduction active et fournit un signal de référence qui doit être fortement corrélé à la nuisance sonore à réduire. Dans ce cas, la connaissance antérieure du signal
25 de bruit est exploitée afin de minimiser l'erreur de réduction de la nuisance sonore, cette erreur étant quantifiée par un signal, dit d'erreur, mesurée au niveau de la zone déterminée. Cependant l'information préalable d'une nuisance sonore n'est pas toujours disponible, d'où l'utilisation d'un second procédé de réduction de nuisances sonores, appelé feedback, ou contrôle en
30 boucle fermée, dans lequel aucune détection préalable n'est effectuée. Le signal d'erreur de réduction est exploité pour fournir un signal de contrôle destiné à minimiser ce même signal d'erreur.

Cependant, la plupart des systèmes actuels apportent des solutions limitées à la contrainte de causalité indispensable à la bonne réalisation de

certaines applications de contrôle actif. Celle-ci impose de réaliser les opérations numériques intrinsèques au procédé de réduction active dans un temps très court. De ce fait, ces systèmes ont une efficacité limitée, en temps de réaction, dans l'espace et en fréquence.

- 5 Un objectif de l'invention est ainsi de proposer un procédé de réduction active de nuisances sonores permettant de mieux répondre à la contrainte citée ci-dessus, et donc de réaliser une meilleure réduction des nuisances sonores.

10 L'invention propose de remédier au problème précité par un procédé de réduction active au niveau d'une zone déterminée de l'énergie d'un signal sonore, dit signal de bruit propagé, engendré dans la zone déterminée par un signal primaire, dit signal de bruit. Le procédé comprend une émission, par des moyens d'émission, d'au moins un signal de contre-bruit comprenant au moins un premier signal de contre-bruit, dit feedback, d'un
15 effet antagoniste au signal de bruit propagé, ce procédé comprenant en outre au moins une itération des opérations suivantes :

- 20 - mesure, par des moyens de mesure disposés au niveau de la zone déterminée, d'un signal, dit d'erreur, représentant une information d'efficacité de la réduction de l'énergie du signal de bruit propagé dans la zone ;
- modélisation, par au moins un premier filtre, d'un trajet acoustique direct, dit chemin secondaire, entre les moyens d'émission du signal de contre-bruit et les moyens de mesure du signal d'erreur éventuellement lors d'une étape préalable d'identification ;
- 25 - détection d'au moins une composante périodique du signal de bruit propagé par filtrage dudit signal de bruit propagé, ladite détection fournissant ladite composante périodique ; et
- ajustement du signal de contre-bruit feedback en fonction de la composante périodique détectée, du signal d'erreur et du chemin
30 secondaire modélisé.

Dans la présente demande, les sources du signal de contre-bruit sont appelées les sources secondaires et les sources du signal de bruit les sources primaires.

La mesure du signal d'erreur, par un moyen de mesure constitué par exemple d'un microphone de contrôle, permet de rendre compte de la réduction de l'énergie du signal de bruit propagé et d'ajuster le signal de contre-bruit de manière à diminuer ce même signal d'erreur.

5 La modélisation du chemin secondaire peut être réalisée par émission, par un moyen d'émission du signal de contre-bruit constitué par exemple d'un haut-parleur, d'un signal connu, suivie d'une mesure de ce signal au niveau de la zone déterminée par un moyen de mesure. Ainsi, en connaissant le signal émis et le signal mesuré il est possible de caractériser
10 le trajet acoustique entre le moyen d'émission du signal de contre-bruit et le moyen de mesure au niveau de la zone déterminée. Cette modélisation peut avoir lieu avant ou pendant toute phase d'émission de contre-bruit.

Ce trajet déterminé, et toujours avant toute réduction du signal de bruit, une modélisation de l'inverse du chemin secondaire peut être réalisée
15 numériquement de sorte à ne pas introduire de déphasage c'est-à-dire de retard supplémentaire dans la chaîne de contrôle, ce qui viendrait en opposition à l'objectif principal de l'invention. Une modélisation en amplitude uniquement est par conséquent menée. Ce filtre inverse permet de limiter les résonances inhérentes au matériel électro-acoustique utilisé ainsi qu'à la
20 topographie de la zone de traitement, résonances que l'on retrouve dans ledit chemin secondaire.

Ce qui suit intervient lors de la phase de contrôle proprement dit.

La détection des composantes périodiques du signal de bruit propagé permet une meilleure connaissance de la composition spectrale dudit signal
25 et permet par conséquent de réaliser des opérations de filtrage passe-bande. Le signal de contre-bruit peut ainsi être ajusté de manière optimale pour assurer, dans une plus grande stabilité, la meilleure réduction de l'énergie du signal de bruit propagé et donc de la nuisance causée par le signal de bruit au niveau de la zone déterminée, notamment lors de
30 changements rapides des composantes périodiques.

Le signal de bruit propagé peut être estimé à partir, d'une part du signal d'erreur, et d'autre part du signal de contre-bruit feedback traité par le premier filtre modélisant le chemin secondaire. En effet, en retranchant au signal d'erreur mesuré dans la zone déterminée, le signal de contre-bruit

feedback filtré par le premier filtre modélisant le chemin secondaire, c'est-à-dire le trajet acoustique entre la source secondaire et le moyen de mesure au niveau de la zone déterminée, il est possible de réaliser une estimation du signal de bruit propagé à réduire.

5 La détection des composantes périodiques du signal de bruit propagé peut être réalisée par un filtrage du signal de bruit propagé estimé par des filtres passe-bande de type « notch », pour coupure, réalisant un filtrage passe-bande à réponse impulsionnelle infinie (IIR) d'amplitude constante partout sauf aux fréquences des composantes périodiques du signal de bruit
10 propagé où les bandes passantes sont quasiment nulles. Ces filtres sont appelés des filtres notch adaptatifs (ANF : « Adaptive Notch Filter »).

En outre, le procédé selon l'invention comprend un filtrage passe-bande du signal de bruit propagé estimé, à la fréquence de tout ou partie des composantes périodiques détectées, ledit filtrage fournissant un signal,
15 dit de référence, essentiellement constitué des composantes périodiques du signal de bruit propagé. Ce signal de référence est ensuite utilisé dans l'ajustement du signal de contre-bruit feedback, tel que décrit ci-dessous.

En effet, le procédé selon l'invention comprend un ajustement d'au moins un coefficient d'un deuxième filtre, à réponse impulsionnelle finie,
20 prévu pour ajuster le signal de contre-bruit feedback en fonction du signal de référence filtré par un troisième filtre à réponse impulsionnelle finie modélisant en amplitude l'inverse du chemin secondaire. Le signal de référence filtré ainsi obtenu, composé essentiellement des composantes périodiques du signal de bruit propagé estimé, sert donc de base pour
25 l'ajustement des coefficients du deuxième filtre, dont la fonction est justement d'éliminer les composantes périodiques du signal de bruit propagé. L'opération de filtrage, par le troisième filtre modélisant en amplitude l'inverse du chemin secondaire, permet elle de faciliter l'ajustement des coefficients du second filtre.

30 En effet, la combinaison, d'une part du premier filtre modélisant le chemin secondaire et, d'autre part du troisième filtre modélisant en amplitude l'inverse du chemin secondaire, a pour résultat, en sortie, une réponse plate en amplitude, égale à 1. Ceci facilite le travail du deuxième filtre qui consiste à trouver les amplitudes et phases optimales du signal de

contre-bruit feedback qui minimisent l'énergie du signal d'erreur et donc l'énergie du signal de bruit propagé. En effet, assurer cette amplitude unité permet de débarrasser le deuxième filtre du travail de recherche d'amplitude optimale et de se concentrer seulement sur la recherche de la phase optimale.

Avantageusement, au moins un coefficient du deuxième filtre peut être ajusté par un algorithme du type algorithme de minimisation selon le critère des moindres carrés (LMS : « Least Mean Square ») en fonction du signal de référence traité par le premier filtre, du signal d'erreur ayant subi un filtrage passe-bande à la fréquence de tout ou partie des composantes périodiques détectées et d'un coefficient de convergence, dit feedback, intervenant dans l'algorithme LMS. En réalisant un tel filtrage passe-bande sur le signal d'erreur, on peut ainsi isoler les composantes périodiques du signal de bruit propagé qui sont présentes dans le signal d'erreur afin que le deuxième filtre ne se concentre que sur celles-ci.

Avantageusement, le signal de contre-bruit comprend en outre un signal de contre-bruit, dit feedforward, ajusté en fonction du signal d'erreur et du signal de bruit mesuré par des moyens de mesure comprenant par exemple un microphone. Le signal de contre-bruit feedforward est destiné à réduire l'énergie des composantes non périodiques du signal de bruit. Ainsi, le procédé selon l'invention permet de mettre en oeuvre de manière combinée un signal de contre-bruit feedback et un signal de contre-bruit feedforward destinés respectivement à diminuer l'énergie des composantes périodiques et des composantes non périodiques du signal de bruit.

Par ailleurs, le procédé selon l'invention peut comprendre en outre :

- une modélisation en amplitude de l'inverse du chemin secondaire par au moins un quatrième filtre à réponse impulsionnelle finie et
- une modélisation par au moins un sixième filtre à réponse impulsionnelle finie du chemin secondaire,

toujours dans la perspective de faciliter le travail d'ajustement des coefficients d'un cinquième filtre défini ci-après. Le quatrième filtre peut être identique au troisième filtre et le sixième filtre identique au premier filtre.

Dans un exemple de réalisation non limitatif, le quatrième filtre peut être le troisième filtre et le sixième filtre peut être le premier filtre.

L'ajustement du signal de contre-bruit feedforward comprend un ajustement d'au moins un coefficient d'un cinquième filtre, à réponse
5 impulsionnelle finie, prévu pour ajuster ledit signal de contre-bruit feedforward en fonction du signal de bruit préalablement traité par le quatrième filtre.

En outre, au moins un coefficient du cinquième filtre est ajusté par un algorithme du type algorithme de minimisation selon le critère des moindres
10 carrés en fonction du signal d'erreur, du signal de bruit mesuré et traité au préalable par le sixième filtre modélisant le chemin secondaire et d'un coefficient de convergence, dit feedforward, intervenant dans l'algorithme en question.

Comme précédemment, la combinaison, d'une part du quatrième filtre
15 modélisant le chemin secondaire et, d'autre part du sixième filtre modélisant en amplitude l'inverse du chemin secondaire a pour résultat, en sortie, une réponse plate en amplitude, égale à 1.

Avantageusement, le procédé selon l'invention peut être mis en œuvre pour l'atténuation d'au moins un signal de bruit par émission d'une
20 pluralité de signaux de contre-bruit par une pluralité de moyens d'émission. Chacun des signaux de contre-bruit peut comprendre :

- un signal de contre-bruit feedback,
- un signal de contre-bruit feedforward, ou
- un signal de contre-bruit feedback et un signal de contre-bruit
25 feedforward.

Par l'émission d'une pluralité de signaux de contre-bruit, et par la mise en œuvre d'une pluralité de points de mesure de signaux d'erreur, par exemple par des microphones de contrôle, le procédé selon l'invention permet, d'une part d'augmenter la taille de la zone déterminée dans laquelle
30 on recherche à réaliser une réduction de l'énergie d'au moins un signal de bruit propagé, et d'autre part de réaliser cette réduction jusqu'à des fréquences plus élevées. Ainsi, en augmentant le nombre de couples moyen d'émission de signal de contre-bruit/moyen de mesure de signal d'erreur, autrement dit signal de contre-bruit/signal d'erreur, on peut traiter les

nuisances sonores sur une distance plus grande et dans une bande de fréquence plus large.

Par exemple, le procédé selon l'invention peut être mis en œuvre pour réaliser une « bulle de confort acoustique ». L'étendue spatiale d'une telle
5 bulle de confort acoustique en espace libre étant assez confinée à mesure que la fréquence augmente, il faut envisager plusieurs sources d'émission de plusieurs signaux de contre-bruit et plusieurs microphones de contrôle de réduction de l'énergie du signal de bruit propagé. Pour exemple, sachant
10 que l'espace inter-oreilles est d'environ 20 centimètres, et que l'on prend une marge identique afin de laisser toute liberté à un utilisateur pour bouger raisonnablement la tête, on se retrouve avec une bulle de confort acoustique à réaliser de 40 centimètres de diamètre, soit un traitement efficace jusqu'à
15 200 Hz maximum en ne considérant qu'un seul couple moyen d'émission du signal de contre-bruit/moyen de mesure du signal d'erreur. En multipliant les points de réduction des nuisances, c'est-à-dire, le nombre de microphones de contrôle, il est possible d'augmenter la fréquence maximale des signaux de bruit dont on veut diminuer l'énergie. Ainsi, avec 3 points de
20 réduction de nuisances sonores sur cette distance, on peut traiter des signaux de bruit jusqu'à 700Hz environ dans une bulle de confort de 40 cm de diamètre. En multipliant le nombre de signaux de contre-bruit et le nombre de points de réduction et en les disposant adéquatement, on peut aussi augmenter la taille de la bulle de confort.

Par point de réduction, ou de minimisation, on entend l'emplacement d'un microphone de contrôle prévu pour mesurer un signal d'erreur.

25

Suivant un autre aspect de l'invention, il est proposé système de réduction active, au niveau d'une zone déterminée, de l'énergie d'un signal sonore, dit signal de bruit propagé, engendré dans la zone déterminée par un signal primaire, dit signal de bruit, par émission d'au moins un signal de
30 contre-bruit comprenant au moins un premier signal de contre-bruit, dit feedback, d'un effet antagoniste au signal de bruit propagé au niveau de la zone déterminé, le système comprenant :

- des moyens pour émettre le signal de contre-bruit ;

- des moyens de mesure, au niveau de la zone déterminée, d'un signal, dit d'erreur, représentant une information d'efficacité de la réduction de l'énergie du signal de bruit propagé ;
- au moins un premier filtre pour modéliser un trajet acoustique direct, dit chemin secondaire, entre les moyens d'émission du signal de contre-bruit et les moyens de mesure du signal d'erreur obtenu éventuellement au terme d'une étape préalable d'identification ;
- des moyens pour détecter et fournir au moins une composante périodique du signal de bruit propagé ; et
- des moyens pour ajuster le signal de contre-bruit feedback en fonction de la composante périodique détectée, du signal d'erreur et du chemin secondaire modélisé.

Avantageusement les moyens d'émission du signal de contre-bruit peuvent comprendre des transducteurs ultrason directifs ayant un faisceau d'émission réduit. En effet, une des limitations des systèmes actuels de réduction active d'une nuisance sonore réside dans le fait que si le contre-bruit contribue à réduire le signal de bruit dans une zone ou un volume ciblé, il peut tout à fait les augmenter ailleurs. En d'autres termes, diminuer les perturbations dans un espace ne signifie pas les diminuer dans tout l'espace. De plus, des moyens d'émission d'un signal de contre-bruit tels que des haut-parleurs sont plus directifs en basses fréquences qu'en hautes fréquences. A moins de pouvoir disposer des haut-parleurs plus gros que la plus grande des longueurs d'onde inhérentes au spectre du signal de bruit à traiter, on ne pourra s'affranchir de cette limitation, sauf si on utilise des transducteurs ultrason. Les ultrasons, complètement inaudibles à l'émission, se distordent à mesure de leur propagation dans l'air et glissent dans le spectre audible. L'avantage des transducteurs ultrason réside dans le fait qu'ils ont un faisceau d'émission très réduit et le volume dans lequel les ultrasons deviennent audibles est tout à fait prédictible. Un autre avantage à l'utilisation de tels transducteurs réside dans le fait que leur directivité simplifie le système multivoies. En effet, la transposition au cas multivoies du système monovoie implique de considérer une multitude de chemins secondaires : les chemins secondaires directs entre chaque transducteur et

leur microphone de contrôle associé, mais également les chemins secondaires dits croisés qui représentent les interactions entre tous les transducteurs et les microphones. D'autre part, les contributions de chaque source secondaire sur les moyens de mesure du signal de bruit, appelées contributions arrières, doivent de la même manière être considérées. Ceci exige de disposer d'une électronique à forte capacité de calcul et de mémoire. Dans le souci de minimisation des coûts souvent importants des opérations temps réel inhérentes au calcul des signaux de contre-bruit, la directivité des transducteurs ultrason présente un grand avantage pour concevoir non plus un système multivoies complexe mais une parallélisation de multiples systèmes monovoies bien moins complexes. En effet, dans ce cas, les chemins croisés et les contributions arrières deviennent négligeables du fait de la directivité des transducteurs ultrason et la non prise en compte des entités dans la structure parallélisée ne perturbe pas la stabilité du système.

Le système selon l'invention peut en outre comprendre des moyens pour mesurer le signal de bruit. Ces moyens peuvent comprendre au moins un microphone, dit de bruit, adéquatement placé en fonction de la source de bruit.

Le système selon l'invention peut en outre comprendre des moyens pour estimer le signal de bruit propagé au niveau de la zone déterminée. L'estimation du signal de bruit propagé, tel qu'il se présente au niveau de la zone déterminée, peut être réalisée en fonction du signal d'erreur et du signal de contre-bruit.

Par ailleurs, le système selon l'invention peut comprendre des moyens de filtrage passe-bande du signal de bruit propagé estimé à la fréquence de tout ou partie des composantes périodiques du signal de bruit propagé, et agencés pour générer un signal de référence, tel que décrit plus haut.

Les moyens pour ajuster le signal de contre-bruit feedback peuvent avantageusement comprendre au moins un deuxième filtre, à réponse impulsionnelle finie, prévu pour ajuster ledit signal de contre-bruit feedback en fonction du signal de référence filtré par un troisième filtre, à réponse impulsionnelle finie, agencé pour modéliser en amplitude l'inverse du chemin secondaire.

Avantageusement, le signal de contre-bruit peut comprendre un deuxième signal de contre bruit, dit feedforward, le système selon l'invention comprenant en outre des moyens pour émettre le signal de contre-bruit feedforward ajusté en fonction du signal d'erreur et du signal de
5 bruit.

Le système peut comprendre un quatrième filtre, à réponse impulsionnelle finie, modélisant en amplitude l'inverse du chemin secondaire, un cinquième filtre, prévu pour ajuster le signal de contre-bruit feedforward, en fonction du signal de bruit mesuré traité par le quatrième
10 filtre et un sixième filtre, à réponse impulsionnelle finie, agencé pour modéliser le chemin secondaire.

Le système selon l'invention peut avantageusement, comprendre une pluralité de moyens d'émission d'une pluralité de signaux de contre-bruit, mis en œuvre pour l'atténuation d'au moins un signal de bruit.

15 D'autres avantages et caractéristiques apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'un mode de réalisation nullement limitatif, et des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique d'une configuration de réduction active d'un signal sonore grâce à un système monovoie
20 selon l'invention ;
- la figure 2 est une représentation schématique d'une configuration de réduction active d'un signal sonore grâce à un système multivoies selon l'invention ;
- la figure 3 est une représentation schématique sous forme de blocs fonctionnels des opérations réalisées au niveau d'une voie d'un système multivoies selon l'invention comprenant une mesure du signal de bruit avec des microphones de mesure ;
- la figure 4 est une représentation schématique sous forme de blocs fonctionnels d'un module de détection et de filtrage de composantes
25 périodiques d'un signal de bruit propagé au niveau d'une voie d'un système multivoies selon l'invention ;
- la figure 5 est une représentation schématique d'une carte électronique multivoies mise en œuvre dans le système multivoies selon l'invention ;

- 11 -

- la figure 6 est une représentation d'un faisceau d'émission d'un transducteur ultrason utilisé dans le système selon l'invention ;
- la figure 7 est un premier exemple de réalisation du système multivoies selon l'invention pour l'obtention d'une bulle de confort ; et
- 5 - la figure 8 un deuxième exemple de réalisation du système multivoies selon l'invention pour l'obtention d'une bulle de confort.

La figure 1 est une représentation schématique d'une configuration 10 de réduction active de nuisances sonores grâce à un système monovoie 11 selon l'invention. Ce système 11 comprend un microphone de bruit permettant de mesurer un signal de bruit x et un transducteur émettant un signal de contre-bruit y ajusté pour minimiser les nuisances sonores causées par le signal de bruit x au niveau d'une zone de confort acoustique 12 où est disposé un microphone de contrôle permettant de mesurer un signal d'erreur e . Dans la suite de la description, nous appellerons la zone de confort acoustique 12 ainsi créée « bulle de confort acoustique ».

Or, l'étendue spatiale d'une telle bulle de confort acoustique 12 en espace libre étant assez confinée à mesure que la fréquence augmente, il faut envisager plusieurs couples de transducteur/microphone de contrôle. Pour exemple, sachant que l'espace inter-oreilles est d'environ 20 centimètres, et que l'on prend une marge identique afin de laisser toute liberté à un utilisateur de bouger raisonnablement la tête, on se retrouve avec une bulle de confort acoustique à réaliser de 40 centimètres de diamètre, soit un traitement efficace jusqu'à 200 Hz maximum en ne considérant qu'un seul couple transducteur/microphone de contrôle. En multipliant le nombre de couples transducteur/microphone de contrôle, il est possible d'augmenter la fréquence maximale de traitement. Ainsi, avec 3 points de réduction de nuisances sonores sur cette distance, on peut traiter des perturbations jusqu'à 700Hz environ dans une bulle de confort de 40 cm de diamètre. En multipliant le nombre de signaux de contre-bruit et le nombre de points de réduction et en les disposant adéquatement, on peut aussi augmenter la taille de la bulle de confort.

Ainsi, la figure 2 représente une configuration 20 de réduction active de nuisances sonores grâce à un système multivoies 21 selon l'invention. Ce système multivoies 21 comprend :

- 5 - K microphones de bruit permettant de mesurer K signaux de bruits x_k ,
- K microphones de contrôle mesurant K signaux d'erreur e_k , et
- K transducteurs émettant K signaux de contre-bruit y_k et produisant une bulle de confort acoustique 22 plus grande que la bulle de confort 12,
- 10 avec k compris entre 1 et K. Bien entendu, le nombre de microphones de contrôle, le nombre de microphones de bruit et le nombre de transducteurs peuvent ne pas être égaux. Cependant, pour une description plus claire des différentes opérations effectuées au niveau de chaque voie du système multivoies 21, nous admettrons ici que le système multivoies 21 comprend
- 15 le même nombre de microphones de contrôle et de transducteurs et un microphone de bruit.

La figure 3 est une représentation en schéma blocs d'une voie k dans la configuration multivoies 20 mettant en œuvre le système multivoies 21 selon l'invention permettant de réaliser la bulle de confort 22. Sur la figure

20 3, on désigne par n le temps discrétisé, c'est-à-dire le temps d'échantillonnage, par S_{kk} le chemin secondaire entre la source secondaire k et le microphone de contrôle k, c'est-à-dire, le trajet acoustique direct entre la source secondaire k, et le microphone k. Le module 221 P_k représente le chemin primaire entre le microphone de détection du signal de référence

25 $x_k(n)$ et le microphone de contrôle k. Le microphone de contrôle k permet de mesurer le signal d'erreur e_k au niveau de la bulle de confort. Nous allons maintenant décrire le fonctionnement du système 21 au niveau d'une voie k.

Le système 21 comprend deux parties, à savoir une partie 211, dite feedforward et une partie 212, dite feedback. La partie feedback 212

30 comprend un filtre $W^{fbk}_k(z)$, à réponse impulsionnelle finie, permettant de générer et d'ajuster un signal contre-bruit feedback $yfbk_k(n)$. Cette partie feedback 212 comprend également deux filtres FIR $\hat{S}_{kk}(z)$ modélisant numériquement le chemin secondaire S_{kk} . Un module 213, composé d'un filtre $\hat{S}_{kk}(z)$ et d'un additionneur Σ , permet de réaliser une estimation du

signal de bruit propagé $d_k(n)$ au niveau de la bulle de confort, à partir du signal d'erreur $e_k(n)$ mesuré par le microphone de contrôle k et du signal de contre-bruit feedback $yfbk_k(n)$ filtré par un filtre $\hat{S}_{kk}(z)$. Ce module 213 fournit en sortie un signal de bruit propagé estimé $de_k(n)$. Un module 214 de

5 détection et de filtrage permet de réaliser une détection des composantes périodiques du signal de bruit propagé $d_k(n)$ à partir de l'analyse du signal de bruit propagé estimé $de_k(n)$ et fournit en sortie un signal de référence $d'_k(n)$ composé des composantes périodiques détectées du signal de bruit propagé estimé $de_k(n)$. Ce module 214 comprend un bloc de détection ANF^C

10 des fréquences périodiques dans le signal de bruit propagé estimé $de_k(n)$ et un bloc de filtrage passe-bande ALE^P (ALE pour *Adaptive Line Enhancer*) du signal de bruit propagé estimé $de_k(n)$ aux fréquences des composantes périodiques détectées par le bloc de détection ANF^C . Ce module 214 sera détaillé dans la suite de la description. Le signal de référence $d'_k(n)$ est

15 ensuite utilisé par un filtre FIR $1/\hat{S}_{kk}(z)$ modélisant en amplitude l'inverse du chemin secondaire modélisé $\hat{S}_{kk}$ puis par un filtre $W^{fbk}_k(z)$ pour ajuster le signal de contre-bruit feedback $yfbk_k(n)$.

Les coefficients du filtre $W^{fbk}_k(z)$ sont ajustés par un algorithme de minimisation selon le critère des moindres carrés, représenté par le bloc

20 LMS , en fonction du signal de référence $d'_k(n)$ traité au préalable par un filtre $\hat{S}_{kk}(z)$, et du signal d'erreur $e_k(n)$ ayant subi un filtrage passe-bande par un bloc ALE^P aux fréquences des composantes périodiques détectées dans le signal de bruit propagé estimé $de_k(n)$.

La partie feedforward 211 du système 21 comprend un filtre FIR

25 $W^{fwd}_k(z)$ permettant de générer et d'ajuster un signal contre-bruit feedback $yfwd_k(n)$ en fonction du signal de bruit $x_k(n)$ mesuré par des moyens de mesure et préalablement filtré par un filtre FIR $1/\hat{S}_{kk}(z)$ modélisant en amplitude l'inverse du chemin secondaire modélisé $\hat{S}_{kk}$. Les coefficients du filtre $W^{fwd}_k(z)$ sont ajustés par un algorithme LMS , représenté par le bloc

30 LMS , en fonction, d'une part du signal d'erreur $e_k(n)$, et d'autre part du signal de bruit mesuré et préalablement traité par un filtre $\hat{S}_{kk}(z)$.

Les signaux de contre-bruit feedforward $yfwd_k(n)$ et feedback $yfbk_k(n)$ sont ensuite additionnés par un additionneur Σ pour obtenir un signal de

contre-bruit $y_k(n)$ qui est émis vers la bulle de confort par des moyens d'émission, qui sont dans notre exemple des transducteurs ultrason.

Ainsi, au niveau de la bulle de confort, le signal d'erreur $e_k(n)$ pour la voie k mesuré par un microphone de contrôle non représenté correspond à la somme, d'une part du signal de bruit propagé $d_k(n)$, et d'autre part des signaux de contre-bruit correspondant à chacune des voies du système 21 et ayant parcourus les chemins secondaires $S_{lk}(z)$ entre les sources secondaires associées à chacune des voies et le microphone de contrôle k , c'est-à-dire $\sum_{l=1}^K S_{lk}(z)y_l(n)$. Ainsi, on peut écrire :

$$e_k(n) = \sum_{l=1}^K S_{lk}(z)y_l(n) + d_k(n).$$

A noter que dans le cas où seraient utilisés les transducteurs ultrason en guise de sources secondaires, le signal d'erreur $e_k(n)$ pour la voie k mesuré par un microphone de contrôle non représenté correspond cette fois-ci à la somme, d'une part du signal de bruit propagé $d_k(n)$, et d'autre part du signal de contre-bruit $y_k(n)$ correspondant la voie k et ayant parcouru le chemin secondaire $S_{kk}(z)$, c'est-à-dire le trajet acoustique entre le transducteur k et le microphone de contrôle k . Dans ce cas,

$$e_k(n) = y_k(n)S_{kk}(n) + d_k(n).$$

La figure 4 est une représentation en schéma bloc du module 214 de détection et de filtrage des composantes périodiques du signal de bruit propagé estimé $de_k(n)$. La méthode d'estimation fréquentielle utilisée dans le présent exemple fait intervenir un filtrage passe-bande à réponse impulsionnelle infinie d'amplitude constante partout ailleurs qu'aux fréquences des composantes du signal de bruit, où la bande passante est quasiment nulle. Ces filtres sont appelés les filtres « notch » et notés ANF (Adaptive Notch Filter). Il existe deux types de filtres notch, correspondant à deux approches différentes, à savoir l'approche directe ou en treillis. Ils se présentent tous deux sous la forme rationnelle $H_i(z,\theta)=N_i(z,\theta)/D_i(z,\theta)$. Pour un signal d'entrée, on cherche le meilleur jeu de coefficients θ qui

- 15 -

minimisent l'erreur quadratique définie comme le filtrage de ce signal d'entrée par le filtre $H_i(z, \theta)$.

La formulation en treillis se présente sous la forme suivante :

$$H_i(z) = \frac{1+\rho}{2} \frac{1+a_i z^{-1} + z^{-2}}{1 + \frac{1+\rho}{2} a_i z^{-1} + \rho z^{-2}}$$

- 5 avec le paramètre a_i relié directement à la fréquence recherchée par la relation $a_i = -2\cos(2\pi f_i)$ et ρ un réel strictement positif proche de 1 appelé facteur de contraction et rendant compte de la bande passante autour de la fréquence coupée.

10 Dans un souci d'optimisation des opérations arithmétiques, et pour limiter l'impact perturbateur du module de détection et de filtrage 214 sur le système 21, une décomposition en cascade, représenté en figure 4, de ce module 214 est choisie afin de déterminer les fréquences composant un signal donné. Aussi, pour p composantes périodiques, on dispose de p filtres $H_i(z)$ en série.

- 15 Remarquons que, la décomposition en cascade du bloc 214 est signalée par un C, pour cascade, dans ANF^C (voir figure 3).

En posant la relation suivante :

$$\tilde{\varepsilon}_i(n) = \frac{1}{D_i} \varepsilon_{i-1}(n)$$

- 20 on peut déterminer chaque paramètre a_i grâce à une réécriture astucieuse de l'algorithme de minimisation selon le critère des moindres carrés récursifs (algorithme RLS : Recursive Least Squares). Pour ce faire, on fait appel à la fonction d'auto-corrélation définie récursivement par :

$$\Phi_i(n) = \lambda \Phi_i(n-1) + \tilde{\varepsilon}_i^2(n-1)$$

et,

en

posant

- 25 $\Theta(n) = [a_1(n) \dots a_p(n)]^T$, $\Gamma(n) = [\Phi_1(n) \dots \Phi_p(n)]^T$, $\tilde{E}(n) = [\tilde{\varepsilon}_1(n-1) \dots \tilde{\varepsilon}_p(n-1)]^T$ et $E(n) = [\varepsilon_1(n) \dots \varepsilon_p(n)]^T$, avec T signifiant transposé, on utilise la relation de récurrence suivante :

$$\Theta(n) = \Theta(n-1) + \Gamma^{-1}(n) \tilde{E}(n) E(n).$$

Enfin, λ et ρ sont adaptés exponentiellement grâce à la récursion suivante :

$$\begin{cases} \lambda(n) = \lambda_0 \lambda(n-1) + (1 - \lambda_0) \lambda_\infty \\ \rho(n) = \rho_0 \rho(n-1) + (1 - \rho_0) \rho_\infty \end{cases}$$

ce qui permet de commencer avec une largeur de bande élevée, de sorte à
5 permettre à chaque section 2141 de détecter une composante périodique, puis de la resserrer afin de pouvoir préciser cette détection. C'est aussi un moyen de limiter les conflits entre sections, sachant que ceux-ci peuvent quand même se produire.

Pour des questions de stabilité et de rapidité de convergence, le signal
10 de référence $d'_k(n)$ et le signal d'erreur $e_k(n)$ sont filtrés par des filtres passe-bande centrés autour des fréquences présentes dans le signal de bruit propagé estimé $de_k(n)$. Le complémentaire d'un filtre notch, sous quelque formulation soit-il, est un filtre passe-bande, noté $N^{ALE}(z^{-1})$, dans lequel intervient la fréquence centrale de filtrage.

15 Ainsi, tel que représenté sur la figure 4, le module de détection et de filtrage 112 est composé d'autant de sections 2141 en cascade que de composantes périodiques à détecter. Chaque section i se présente sous la forme d'un filtre $H_i(z^{-1})$ comprenant :

- un ensemble 2142, composé de deux blocs notés $1/D_i(\rho z^{-1})$ et
20 $N_i^{ANF}(z^{-1})$. Cet ensemble 2142 est prévu pour réaliser la détection d'une composante périodique a_i du signal de bruit propagé estimé $de_k(n)$; et

- un filtre 2143, noté $N_i^{ALE}(z^{-1})$, et prévu pour filtrer le signal de
25 bruit propagé estimé $de_k(n)$ à la fréquence de la composante périodique a_i détecté par l'ensemble 2142. Ce filtre 2143 fournit en sortie un signal $d'_{ki}(n)$ composé seulement de la composante périodique a_i du signal de bruit propagé estimé $de_k(n)$.

Le signal de référence $d'_k(n)$ est obtenu par addition de tous les signaux $d'_{ki}(n)$ fournis par les filtres $N_i^{ALE}(z^{-1})$ des sections 2141.

30 Remarquons que cette opération d'addition est signalée par un P, comme parallèle, dans ALE^P (voir figure 3)

Les opérations d'analyse du signal de bruit, de génération et d'ajustement des signaux de contre-bruit $y_k(n)$ pour toutes les voies k du système de réduction des nuisances sonores multivoies 21 selon l'invention peuvent être intégrées sur une seule carte électronique.

5 La figure 5 représente schématiquement un exemple de carte électronique 30 pour un système multivoies de réduction de nuisances sonores présentant 6 voies 300-305 en entrée, et 4 voies 306-309 en sortie. En entrée de cette carte 30 :

- 10 - les voies 300-303 correspondant à quatre signaux d'erreur, respectivement $e_1(n)$ - $e_4(n)$, mesurés par quatre microphones de contrôle, respectivement 310-313, disposés dans de la bulle de confort 22 ;
- la voie 304 correspond au signal de bruit $x(n)$ mesuré par un microphone de bruit ; et
- 15 - la voie 305 correspond à un signal provenant d'un potentiomètre 315 permettant d'ajuster les coefficients de convergence feedback et feedforward intervenant dans les algorithmes LMS utilisés.

En sortie de cette carte 30 :

- 20 - les voies 306-309 correspondent à quatre signaux de contre-bruit, respectivement $y_1(n)$ - $y_4(n)$, destinés à être émis par quatre transducteurs, respectivement 316-319, adéquatement disposés.

Pour chacune des voies 300-304, la carte comporte :

- 25 - un étage 320 de pré-amplification, réalisant une pré-amplification des signaux de chacune des voies 300 - 304, à l'aide de pré-amplificateurs 3200-3204 ;
- un étage de gain 330, disposé en sortie de l'étage 320, et appliquant un gain aux signaux de chacune des voies 300 - 304 à l'aide d'amplificateurs 3300-3304 de gain réglable ;
- 30 - un étage 340 de filtrage anti-repliement en sortie de l'étage de gain 330, et réalisant un filtrage anti-repliement des signaux de chacune des voies 300-304, à l'aide de filtres anti-repliement

3400-3404. La fréquence d'échantillonnage au niveau des filtres 3400-3404 est réglable à l'aide d'un module 3405 ;

- en sortie de l'étage 340, un multiplexeur 31 réalisant un multiplexage des signaux des voies 300 – 304 ; et
- 5 - en sortie du multiplexeur 31, un convertisseur analogique-numérique 32, réalisant une conversion analogique numérique du signal multiplexé.

Le signal numérique multiplexé, obtenu en sortie du convertisseur 32, entre ensuite dans un processeur 33 de type DSP qui permet de réaliser
10 pour chaque voie les opérations que nous avons décrites ci-dessus et représentées schématiquement en figures 3 et 4. Le processeur 33 utilisé dans l'exemple présent est un processeur Analog Devices de la gamme SHARC en finition industrielle donc résistant aux températures extrêmes. L'implémentation du code est assurée via l'interface développée par Analog
15 Devices soit le logiciel VisualDSP++, logiciel qui possède un compilateur C de haut niveau. Il est possible de travailler soit en virgule flottante soit en virgule fixe. La fréquence d'échantillonnage au niveau du processeur est paramétrable, à l'aide d'un module 331, pour répondre à tous les cas de réduction active de l'énergie d'un signal sonore.

20 Le DSP 33 a été dimensionné pour accueillir des opérations inhérentes aux algorithmes LMS utilisés. Le DSP peut accueillir des algorithmes plus complexes que ceux utilisés car une mémoire externe 34 est présente sur la carte 30, afin de subvenir aux éventuels surcoût en mémoire et calcul.

Dans le cas d'un système multi-cartes, une liaison peut être effectuée
25 entre les différentes cartes à l'aide des lignes de connexion 35. Cette éventualité a été pensée afin de pouvoir étendre à l'infini les applications de réduction active des nuisances sonores et de ne pas avoir de limitations dues au processeur 33.

En sortie du processeur 33, le signal numérique est composé des
30 signaux de contre-bruit $y_1(n)$ - $y_4(n)$. Ce signal numérique est converti à l'aide d'un convertisseur numérique-analogique 36. Puis le signal analogique obtenu entre dans un démultiplexeur 37 et subi un démultiplexage. Après le démultiplexage les différents signaux de contre-bruit $y_1(n)$ - $y_4(n)$ sont

séparés et se trouvent sur les voies de sortie 306-309. Avant d'être émis par les transducteurs 316-319, les signaux de contre-bruit subissent :

- 5 - un lissage par un étage de lissage 350 comprenant des filtres passe-bas 3500-3503. La fréquence d'échantillonnage au niveau des filtres 3500-3503 est réglable à l'aide du module 3405 ;
- une diminution en gain par un étage de gain 360 comprenant des amplificateurs 3600-3603 de gain réglable ; et
- 10 - une amplification en puissance par un étage d'amplification de puissance 370 comprenant des amplificateurs de puissance. Cet étage d'amplification de puissance 370 peut ne pas se trouver sur la carte 30 telle que représentée en figure 5.

Le signal de réglage des coefficients de convergence feedback et feedforward provenant du potentiomètre 315 sur la voie 305 subi une amplification grâce à un amplificateur 3051 puis une conversion analogique-numérique grâce à un convertisseur analogique numérique 3052 avant
15 d'entrer dans le processeur 33. Ce coefficient de convergence est un facteur de pondération, strictement positif et inférieur à 1, appliqué au niveau de la réactualisation dans l'algorithme LMS des coefficients des divers filtres précédemment cités.

20 Les transducteurs 316-319 utilisés dans le présent exemple sont des transducteurs ultrason. Ces transducteurs ultrason 316-319 ont un faisceau d'émission 61, représenté en figure 6, très réduit. De plus, les ultrasons, complètement inaudibles à l'émission, se distordent à mesure de leur propagation dans l'air et glissent dans le spectre audible et le volume dans
25 lequel ils deviennent audibles est tout à fait prédictible.

La figure 7 représente schématiquement d'un premier exemple de réalisation du système multivoies selon l'invention pour l'obtention d'une bulle de confort 22 à l'aide des 4 transducteurs ultrason 316-319 adéquatement placés sur une table de bureau 71. Le positionnement de ces
30 transducteurs n'est évidemment pas limité au seul bureau. Ils peuvent tout à fait être disposés autour d'une ouverture, une fenêtre ou une porte par exemple. La bulle de confort 22 obtenue est située sensiblement à un niveau correspondant au niveau de la tête d'un utilisateur sur la table de bureau 71.

Une autre réalisation du système selon l'invention est schématisée en figure 8. Il s'agit d'un isoloir 80 destiné à accueillir un ou plusieurs utilisateurs 81 pour leur fournir une zone de réduction des nuisances sonores autour de leur tête. Il est conçu pour être implanté aussi bien dans des espaces publics que dans des usines, et peut aussi constituer un support pour publicité.

Le principe est le suivant : une multitude de microphones de bruit 82 implantés au niveau de la structure de l'isoloir 81 fournissent les signaux de bruits, bases pour l'algorithme décrit précédemment pour calculer les signaux de contre-bruit propagés par une multitude de sources secondaires 83 implantées dans l'isoloir 80. Un réseau de microphones de contrôle 84, autour duquel se trouve la bulle de confort, permet l'adaptation en temps réel des filtres décrits plus haut. Des panneaux d'affichages 85 permettent l'affichage d'informations telles que de la publicité. L'isoloir 80 comprend un ou plusieurs sièges ou repose fesses 86 permettant à l'utilisateur 81 de se poser.

L'avantage d'une telle intégration de la bulle de confort est que l'on mêle aux performances basses fréquences du contrôle actif l'efficacité connue des traitements acoustiques par matériaux passifs, dont la structure et la cabine de l'isoloir est revêtue. Ainsi, on obtient une atténuation tout à fait satisfaisante et homogène sur l'ensemble du spectre de bruit.

Bien entendu l'invention n'est pas limitée aux exemples d'applications que nous venons de décrire et peut être appliquée à la réduction de l'énergie de n'importe quel signal sonore dans une zone déterminée.

REVENDEICATIONS

- 1) Procédé de réduction active au niveau d'une zone déterminée (22) de l'énergie d'un signal sonore ($d_k(n)$), dit signal de bruit propagé, engendré dans ladite zone (22) par un signal primaire ($x_k(n)$), dit signal de bruit, ledit procédé comprenant une émission, par des moyens d'émission, d'au moins un signal de contre-bruit ($y_k(n)$) comprenant au moins un premier signal de contre-bruit ($y_{fbk_k}(n)$), dit feedback, d'un effet antagoniste audit signal de bruit propagé ($d_k(n)$), ledit procédé comprenant en outre au moins une
- 10 itération des opérations suivantes :
- mesure, par des moyens de mesure disposés au niveau de ladite zone déterminée (22), d'un signal ($e_k(n)$), dit d'erreur, représentant une information d'efficacité de la réduction de l'énergie du signal de bruit propagé ($d_k(n)$) dans ladite zone (22) ;
 - 15 - modélisation, par au moins un premier filtre ($\hat{S}_{kk}(z)$), d'un trajet acoustique direct (S_{kk}), dit chemin secondaire, entre lesdits moyens d'émission du signal de contre-bruit ($y_k(n)$) et lesdits moyens de mesure dudit signal d'erreur ($e_k(n)$) ;
 - détection d'au moins une composante périodique dudit signal de bruit propagé ($d_k(n)$) par filtrage dudit signal de bruit propagé, ladite
 - 20 détection fournissant ladite composante périodique ; et
 - ajustement dudit signal de contre-bruit feedback ($y_{fbk_k}(n)$) en fonction de ladite composante périodique détectée, dudit signal d'erreur ($e_k(n)$) et dudit chemin secondaire modélisé ($\hat{S}_{kk}(z)$).
- 25
- 2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la détection d'au moins une composante périodique du signal de bruit propagé ($d_k(n)$) est réalisée par analyse d'un signal de bruit propagé estimé ($de_k(n)$) obtenue par estimation à partir d'une part du signal d'erreur ($e_k(n)$), et d'autre part
- 30 du signal de contre-bruit feedback ($y_{fbk_k}(n)$) traité par le premier filtre ($\hat{S}_{kk}(z)$) modélisant le chemin secondaire (S_{kk}).
- 3) Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un filtrage passe-bande du signal de bruit propagé estimé ($de_k(n)$), à

la fréquence de tout ou partie des composantes périodiques détectées, ledit filtrage fournissant un signal, dit de référence ($d'_k(n)$).

4) Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'ajustement du signal de contre-bruit feedback ($y_{fbk_k}(n)$) comprend un ajustement d'au moins un coefficient d'un deuxième filtre ($W^{fbk}_k(z)$), à réponse impulsionnelle finie, ledit deuxième filtre étant prévu pour ajuster ledit signal de contre-bruit feedback ($y_{fbk_k}(n)$) en fonction du signal de référence ($d'_k(n)$) filtré par un troisième filtre à réponse impulsionnelle finie ($1/\hat{S}_{kk}(z)$) modélisant en amplitude l'inverse du chemin secondaire.

5) Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'au moins un coefficient du deuxième filtre ($W^{fbk}_k(z)$) est ajusté par un algorithme du type algorithme de minimisation selon le critère des moindres carrés (LMS) en fonction du signal de référence ($d'_k(n)$) traité préalablement par le premier filtre ($\hat{S}_{kk}(z)$), du signal d'erreur ($e_k(n)$) ayant subi au préalable un filtrage passe-bande à la fréquence de tout ou partie des composantes périodiques détectées et d'un coefficient de convergence, dit feedback.

6) Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le signal de contre-bruit ($y_k(n)$) comprend en outre un signal de contre-bruit ($y_{fwd_k}(n)$), dit feedforward, ajusté en fonction du signal d'erreur ($e_k(n)$), du signal de bruit ($x_k(n)$) mesuré par des moyens de mesure (314).

7) Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une modélisation en amplitude de l'inverse du chemin secondaire (S_{kk}) par au moins un quatrième filtre ($1/S_{kk}(z)$), à réponse impulsionnelle finie.

8) Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'ajustement du signal de contre-bruit feedforward ($y_{fwd_k}(n)$) comprend un ajustement d'au moins un coefficient d'un cinquième filtre ($W^{fwd}_k(z)$), à réponse impulsionnelle finie, ledit cinquième filtre étant prévu pour ajuster ledit

signal de contre-bruit feedforward ($y_{\text{fwd}_k}(n)$) en fonction du signal de bruit ($x_k(n)$) préalablement traité par le quatrième filtre ($1/\hat{S}_{kk}(z)$).

9) Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'au moins un
 5 coefficient du cinquième filtre ($W_{\text{fwd}_k}^{\text{fwd}}(z)$) est ajusté par un algorithme du type algorithme des moindres carrés (LMS) en fonction du signal d'erreur ($e_k(n)$), du signal de bruit mesuré ($x_k(n)$) traité au préalable par un sixième filtre ($\hat{S}_{kk}(z)$) modélisant le chemin secondaire (S_{kk}) et d'un coefficient de convergence, dit feedforward.

10

10) Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est mis en œuvre pour l'atténuation d'au moins un signal de bruit propagé ($d_k(n)$) par émission d'une pluralité de signaux de contre-bruit ($y_1(n)$ - $y_4(n)$) par une pluralité de moyens d'émission (316-
 15 319).

11) Système de réduction active, au niveau d'une zone déterminée (22), de l'énergie d'un signal sonore ($d_k(n)$), dit signal de bruit propagé, engendré dans ladite zone (22) par un signal primaire ($x_k(n)$), dit signal de bruit, par
 20 émission d'au moins un signal de contre-bruit ($y_k(n)$) comprenant au moins un premier signal de contre-bruit ($y_{\text{fbk}_k}(n)$), dit feedback, d'un effet antagoniste audit signal de bruit propagé ($d_k(n)$) au niveau de la zone déterminée (22), ledit système comprenant :

- des moyens (316-319) pour émettre le signal de contre-bruit ($y_k(n)$) ;
- des moyens (310-313) de mesure, au niveau de ladite zone déterminée (22), d'un signal ($e_k(n)$), dit d'erreur, représentant une information d'efficacité de la réduction de l'énergie dudit signal de bruit propagé ($d_k(n)$) ;
- au moins un premier filtre ($\hat{S}_{kk}(z)$) pour modéliser un trajet acoustique direct (S_{kk}), dit chemin secondaire, entre lesdits moyens d'émission (316-319) du signal de contre-bruit ($y_k(n)$) et lesdits moyens de mesure (310-313) dudit signal d'erreur ($e_k(n)$).

30

- des moyens (214) pour détecter et fournir au moins une composante périodique dudit signal de bruit propagé ($d_k(n)$) ; et
- des moyens pour ajuster ledit signal de contre-bruit feedback ($y_{fbk_k}(n)$) en fonction de ladite composante périodique détectée, dudit signal d'erreur ($e_k(n)$) et dudit chemin secondaire modélisé ($\hat{S}_{kk}(z)$).

12) Système selon la revendication 11, caractérisé en ce que les moyens (316-319) pour émettre le signal de contre-bruit ($y_k(n)$) comprennent des transducteurs ultrason ayant un faisceau d'émission (61) réduit.

13) Système selon l'une quelconque des revendications 11 à 12, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens (213) pour estimer le signal de bruit propagé ($d_k(n)$) à partir d'une part du signal d'erreur ($e_k(n)$), et d'autre part du signal de contre-bruit feedback ($y_{fbk_k}(n)$) traité par le premier filtre ($\hat{S}_{kk}(z)$) modélisant le chemin secondaire (S_{kk}), lesdits moyens (213) fournissant un signal de bruit propagé estimé ($d_{ek}(n)$).

14) Système selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens de filtrage passe-bande (214) du signal de bruit propagé estimé ($d_{ek}(n)$) à la fréquence de tout ou partie des composantes périodiques détectées, lesdits moyens de filtrage fournissant un signal de référence ($d'_k(n)$).

15) Système selon la revendication 14, caractérisé en ce que les moyens pour ajuster le signal de contre-bruit feedback ($y_{fbk_k}(n)$) comprennent au moins un deuxième filtre ($W^{fbk}_k(z)$) à réponse impulsionnelle finie prévu pour ajuster ledit signal de contre-bruit feedback ($y_{fbk_k}(n)$) en fonction du signal de référence ($d'_k(n)$) filtré par un troisième filtre ($1/\hat{S}_{kk}(z)$) modélisant en amplitude l'inverse du second chemin.

16) Système selon l'une quelconque des revendications 11 à 15, caractérisé en ce que le signal de contre-bruit ($y_k(n)$) comprend un second signal de contre-bruit ($y_{fwd_k}(n)$) dit, feedforward, le système comprenant en outre

des moyens pour ajuster ledit signal de contre-bruit feedforward ($y_{fwd_k}(n)$) en fonction du signal d'erreur ($e_k(n)$) et du signal de bruit ($x_k(n)$).

17) Système selon la revendication 16, caractérisé en ce qu'il comprend en
5 outre un quatrième filtre ($1/\hat{S}_{kk}(z)$), à réponse impulsionnelle finie, agencé pour modéliser en amplitude l'inverse du chemin secondaire.

18) Système selon la revendication 17, caractérisé en ce qu'il comprend en
10 outre un cinquième filtre ($W_{kk}^{fwd}(z)$), prévu pour ajuster le signal de contre-bruit feedforward ($y_{fwd_k}(n)$), en fonction du signal de bruit ($x_k(n)$) traité par le quatrième filtre ($1/\hat{S}_{kk}(z)$).

19) Système selon l'une quelconque des revendications 11 à 18, caractérisé
15 en ce qu'il comprend en outre une pluralité de moyens d'émission (316-319) d'une pluralité de signaux de contre-bruit ($y_1(n)$ - $y_4(n)$).

Fig. 1

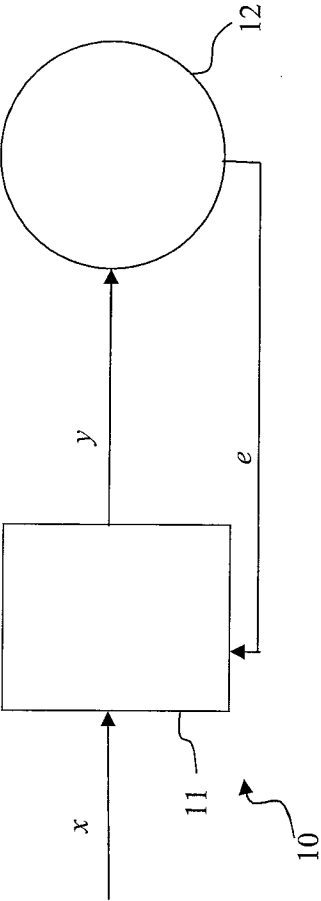
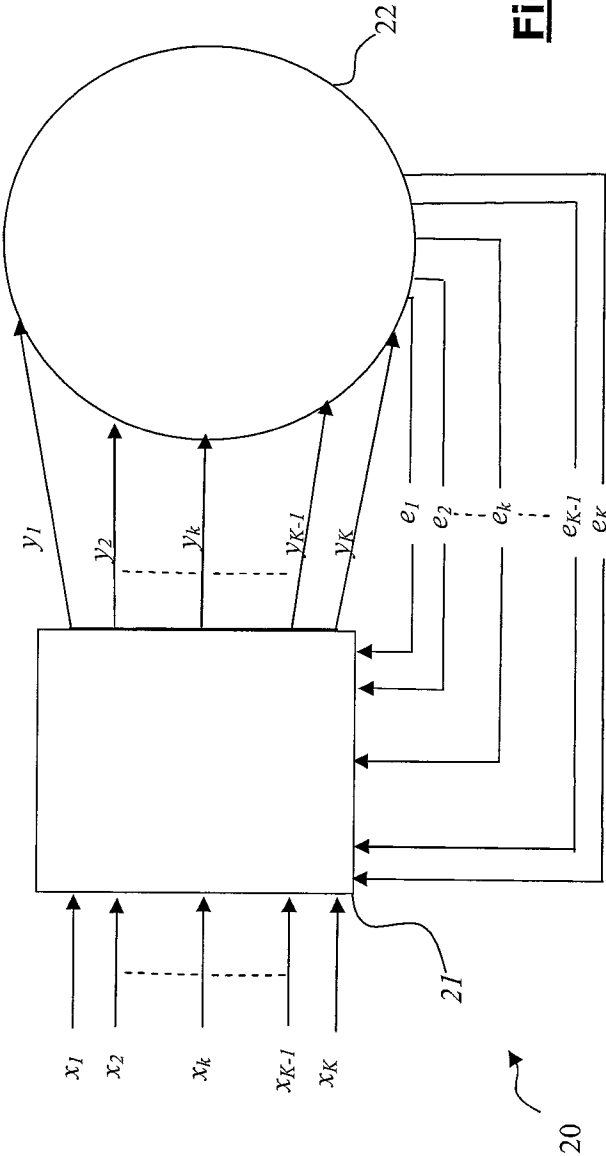
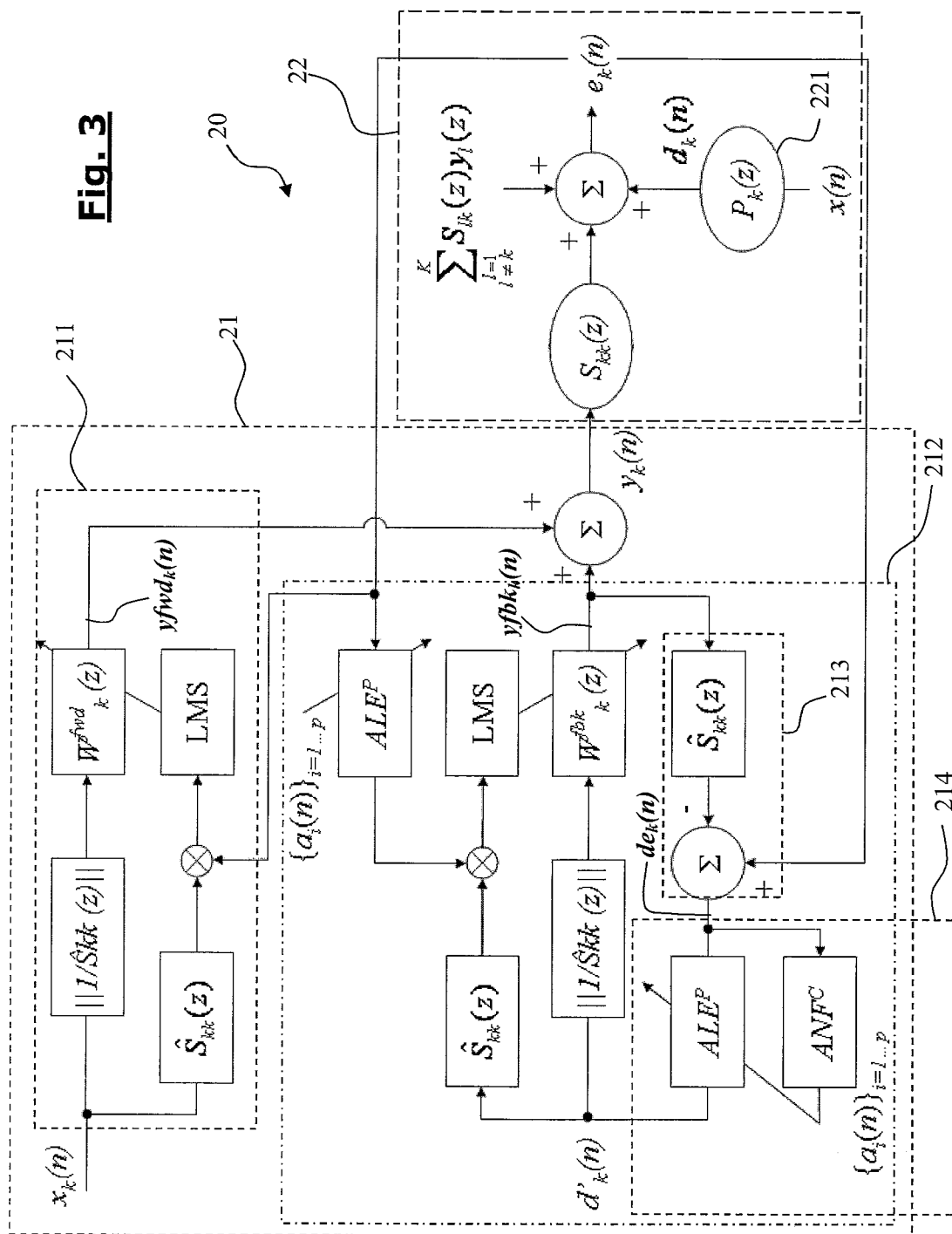


Fig. 2

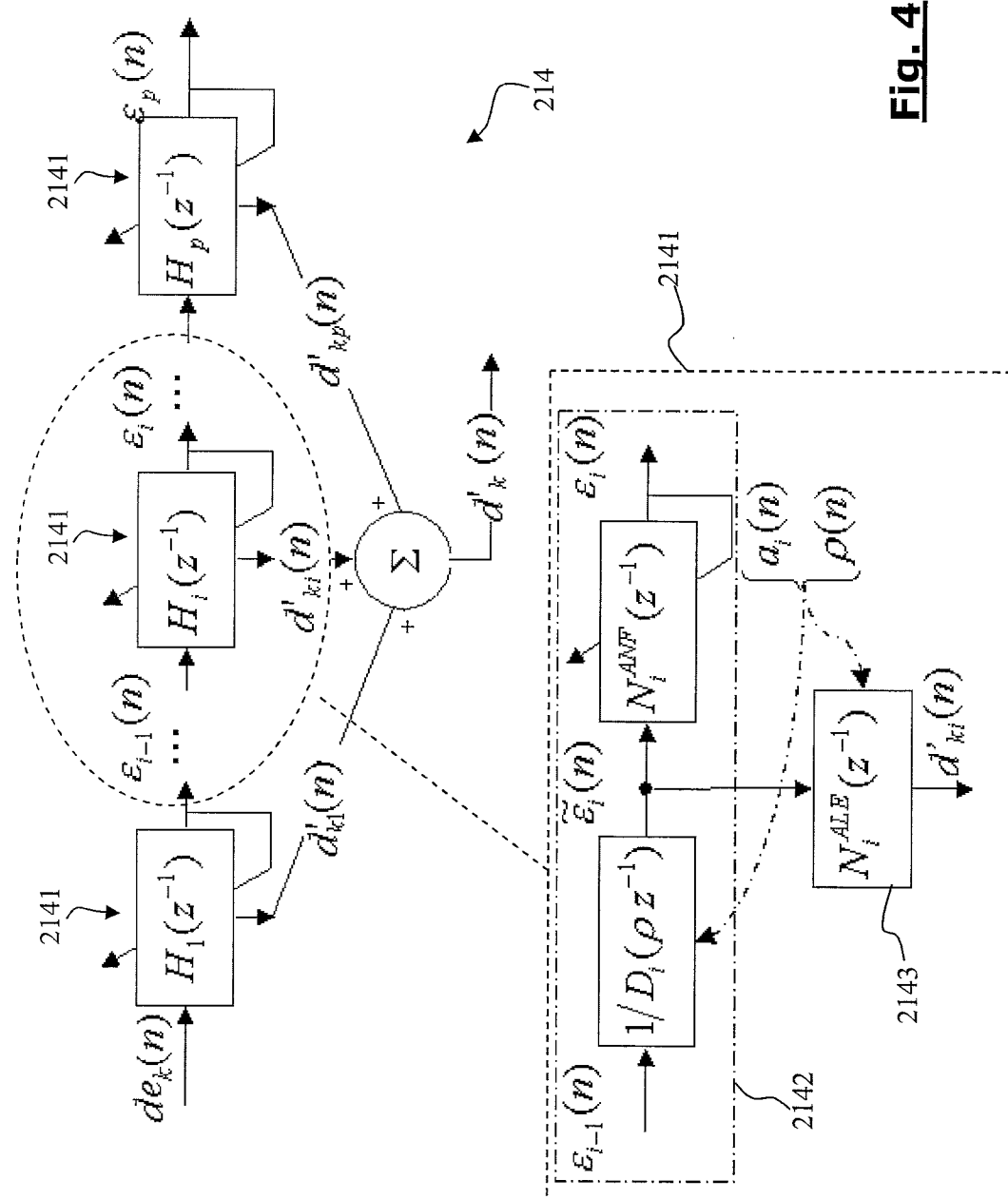


2/6

Fig. 3



3/6

**Fig. 4**

4/6

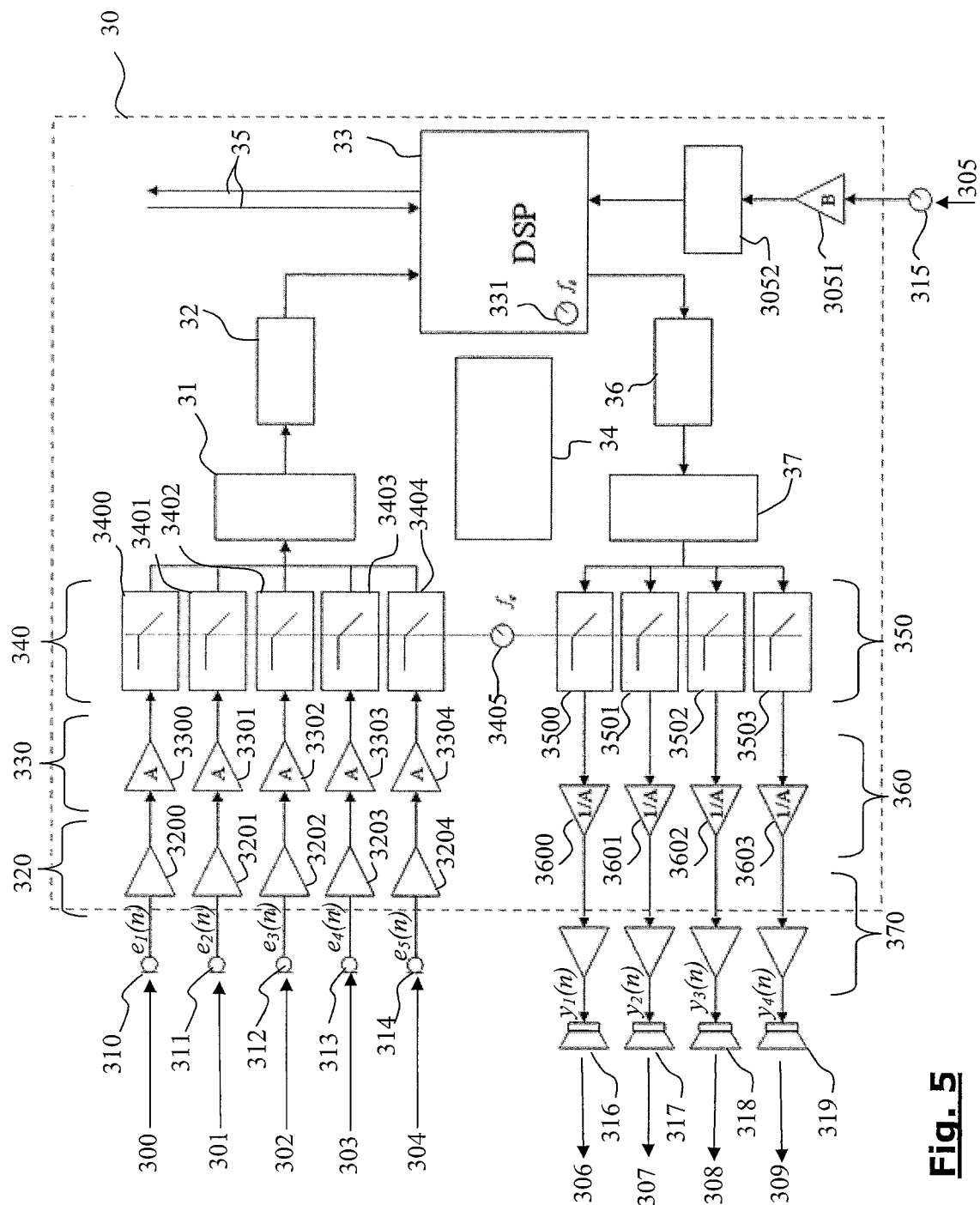


Fig. 5

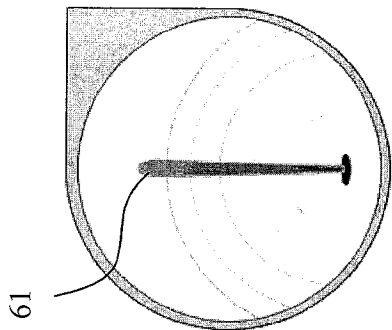


Fig. 6

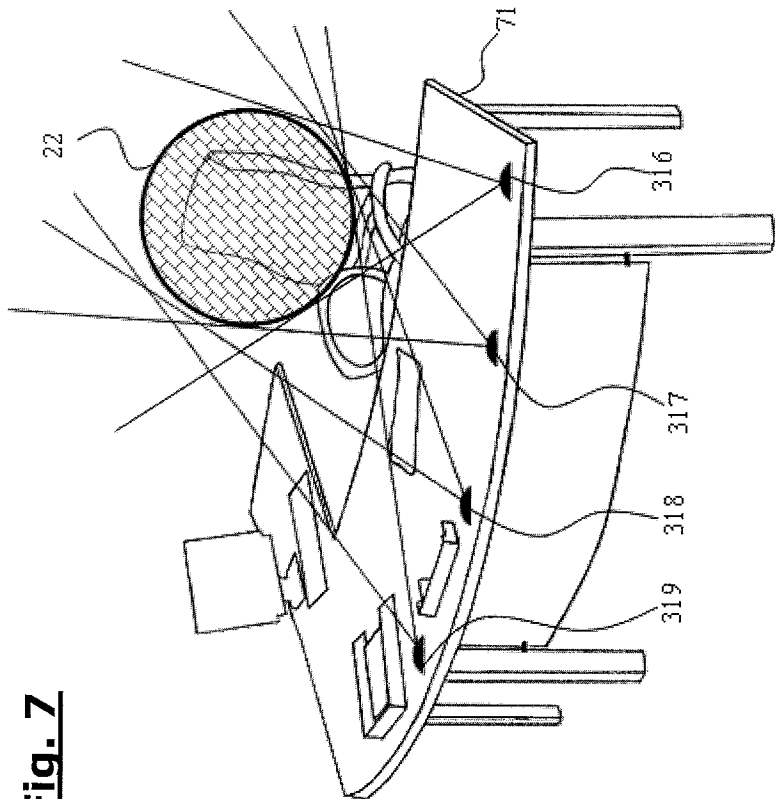


Fig. 7

6/6

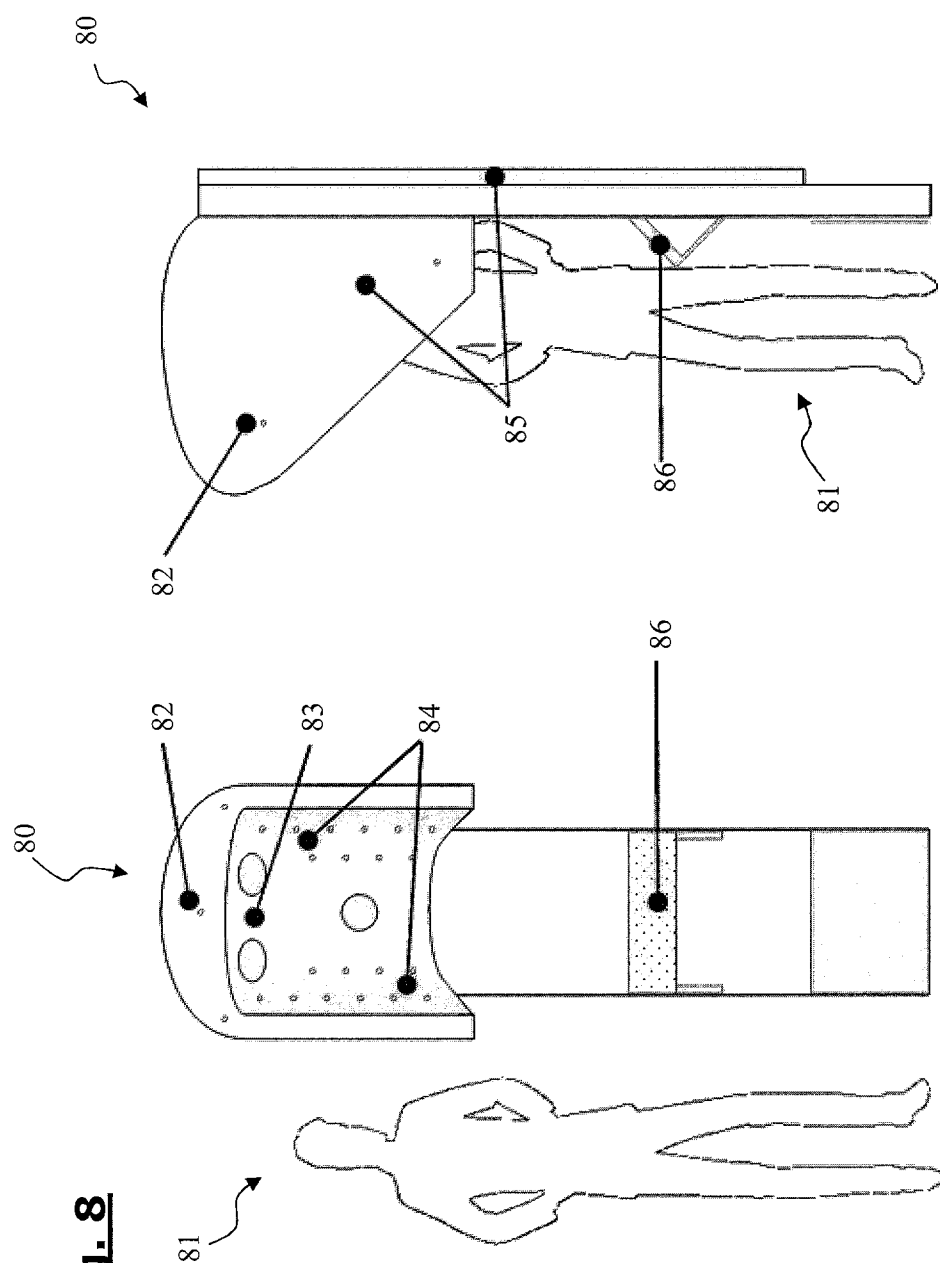


Fig. 8