

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
27 juillet 2006 (27.07.2006)

PCT

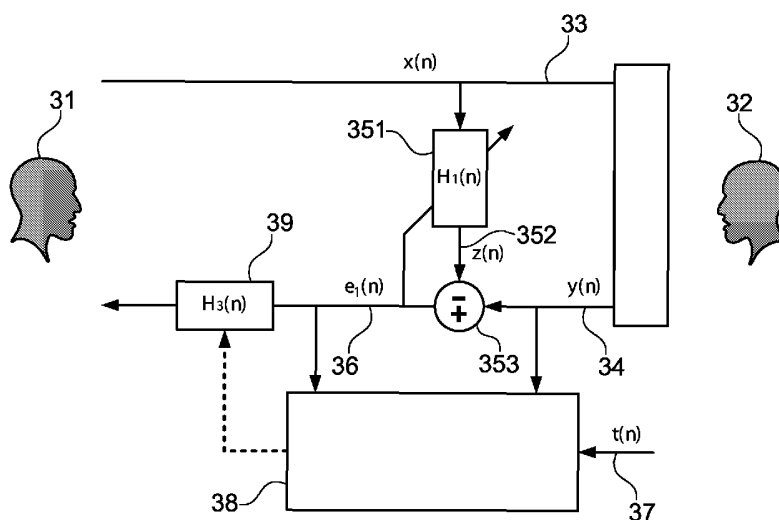
(10) Numéro de publication internationale
WO 2006/077005 A2

- (51) Classification internationale des brevets : **Non classée** [FR/FR]; Impasse de Poull Ar C'Hog, F-22560 Trebeurden (FR).
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/EP2005/057220
- (22) Date de dépôt international : 29 décembre 2005 (29.12.2005)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 0500548 19 janvier 2005 (19.01.2005) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **FRANCE TELECOM** [FR/FR]; 6 place d'Alleray, F-75015 Paris (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **MARRO, Claude** [FR/FR]; 5, rue des Troënes, F-22220 Plouguviel (FR). **DAASSI-GNABA, Hela** [TN/FR]; 16, rue du Gros Caillou, BP 4, F-75007 Paris (FR). **SCALART, Pascal**
- (74) Mandataire : **BIORET, Ludovic**; Cabinet Vidon, 16B rue De Jouanet - BP 90333, F-35703 Rennes Cedex 7 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (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, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: DEVICE FOR ACOUSTIC ECHO CANCELLATION, AND CORRESPONDING METHOD AND COMPUTER PROGRAM

(54) Titre : DISPOSITIF D'ANNULATION D'ECHO ACOUSTIQUE, PROCEDE ET PROGRAMME D'ORDINATEUR CORRESPONDANTS



(57) Abstract: The invention relates to a device for the cancellation of an acoustic echo corresponding to a received signal (33) and present in a source emitted signal (34), said device comprising first means for subtracting (353) an estimated echo signal (352) obtained by the filtering of the received signal (33) from the source emitted signal (34), providing an intermediate emitted signal (36), and first means for filtering (39) the intermediate emitted signal (36), the filtering coefficients thereof being determined by coefficient calculation means. According to the invention, the calculation means comprise means for enhancing, in the source emitted signal (34), at least one spectral component representative of the echo, in order to supply an enhanced signal, and means for processing the enhanced signal, thus obtaining the filtering coefficients.

[Suite sur la page suivante]

WO 2006/077005 A2



européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Publiée :

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

(57) Abrégé : L'invention concerne un dispositif d'annulation d'un écho acoustique correspondant à un signal reçu (33), présent dans un signal émis source (34), comprenant des premiers moyens de soustraction (353) audit signal émis source (34) d'un signal d'écho estimé (352), obtenu par filtrage dudit signal reçu (33), délivrant un signal émis intermédiaire (36), et des premiers moyens de filtrage (39) dudit signal émis intermédiaire (36), dont les coefficients de filtrage sont déterminés par des moyens de calcul de coefficients. Selon l'invention, lesdits moyens de calcul comprennent des moyens de rehaussement, dans ledit signal émis source (34), d'au moins une composante spectrale représentative dudit écho, pour fournir un signal rehaussé, et des moyens de traitement dudit signal rehaussé, délivrant lesdits coefficients de filtrage.

Dispositif d'annulation d'écho acoustique, procédé et programme d'ordinateur correspondants.

1. Domaine de l'invention

Le domaine de l'invention est celui des communications numériques, et
5 notamment celui du traitement de l'écho dans un système de communication.

Plus précisément, l'invention concerne une technique d'annulation d'un écho acoustique permettant d'atténuer, dans un signal émis, des composantes d'écho d'un signal reçu.

L'invention trouve notamment des applications dans le domaine du traitement de
10 la parole, par exemple dans le cadre de téléconférences et visioconférences (notamment en salle dédiée ou à partir d'ordinateur multimédia), ou dans le cadre de la téléphonie, avec un traitement au niveau du terminal (terminaux classiques, terminaux mobiles, par exemple) et/ou au sein du réseau de télécommunication.

L'invention peut également être utilisée dans des terminaux mains-libres (par
15 exemple de type bureau, mobiles, mobiles embarqués en véhicule), dans des systèmes de prises de son dans les lieux publics (gare, aéroport, ...), ou encore dans des systèmes de reconnaissance de parole avec anticipation (encore appelés « barge in » en anglais).

2. Solutions de l'art antérieur et leurs inconvénients

On connaît déjà plusieurs méthodes permettant d'annuler au moins en partie un
20 écho, correspondant à un signal reçu, présent dans un signal émis.

Une première approche repose ainsi sur l'annulation de l'écho acoustique par identification directe du chemin d'écho.

Selon cette technique, une estimation du canal acoustique de l'écho est réalisée en identifiant la réponse impulsionnelle du bouclage acoustique. Comme cette réponse
25 varie au cours du temps, il est souhaitable de mettre en œuvre une technique de filtrage adaptatif.

Un exemple, dans une application de téléphonie ou de téléconférence entre un ou plusieurs correspondant(s) distant(s) 18 et un correspondant local 19, est illustré en
figure 1. Un signal reçu 11 est diffusé sur un haut-parleur 12, et un signal émis 14,
30 comprenant des composantes d'écho du signal reçu 11 et un signal de parole locale, est renvoyé par un microphone 13. Le chemin d'écho 15 correspond alors à la

matérialisation de toutes les réflexions subies par le signal reçu 11 avant d'atteindre le microphone 13. Il est donc composé par la réponse impulsionnelle de l'ensemble haut-parleur/canal acoustique/microphone.

L'annulation totale de l'écho acoustique par identification directe du chemin d'écho nécessite donc la modélisation exacte du chemin d'écho 15 par un filtre adaptatif 16 ayant un nombre de coefficients qui peut être très important.

En pratique, cette première approche, appelée par la suite « annuleur d'écho acoustique », n'est pas envisageable en raison de la complexité numérique du traitement. Par conséquent, afin de limiter la complexité, le chemin d'écho n'est jamais complètement modélisé, ce qui entraîne une limitation des performances en terme de réduction d'écho.

Un écho résiduel, souvent audible, subsiste alors dans la majeure partie des applications. Ceci se traduit pour un correspondant distant par un phénomène d'écho gênant du fait du retard introduit par la chaîne de communication, et qui engendre la perte de l'interactivité de la conversation.

Une seconde approche consiste à ajouter un traitement complémentaire, encore appelé post-filtre 17, dont le rôle est de supprimer la partie audible de l'écho résiduel, encore présent après l'annulation d'écho.

Le post-filtre est un moyen permettant d'apporter la réduction d'écho supplémentaire nécessaire afin de rendre cet écho inaudible et de restituer fidèlement sans dégradation perceptible le signal de parole locale, tout en conservant une complexité arithmétique raisonnable.

Ainsi, un système combinant un annuleur d'écho acoustique adaptatif et un post-filtre a été proposé par R. Martin et J. Altenhoner dans "A coupled adaptive filters for acoustic echo control and noise reduction" (ICASSP 95, vol. 5, pp. 3043-3046, Mai 1995).

Une telle technique, présentée en relation avec la figure 2, repose sur la mise en cascade de deux filtres adaptatifs à réponse impulsionnelle finie transverses $H_1(n)$ 21 et $H_2(n)$ 22 (encore appelés FIR, en anglais "Finite Impulse Response").

Le filtre $H_1(n)$ 21 appartient à un annuleur d'écho acoustique classique (tel que présenté ci-dessus) de longueur réduite devant celle de la réponse impulsionnelle réelle

du canal acoustique 23. Il ne peut ainsi modéliser que partiellement la réponse du canal acoustique, soit approximativement l'onde directe et les premières réflexions, correspondant généralement à la partie la plus énergétique de l'écho.

5 Ce filtre $H_1(n)$ 21 peut être adapté classiquement, par exemple en utilisant un algorithme adaptatif de type gradient stochastique normalisé (ou NLMS, de l'anglais "Normalized Least Mean Square").

10 Le filtre $H_2(n)$ 22, encore appelé filtre de mise en forme (ou "echo shaping filter" en anglais), est appliqué sur un signal émis intermédiaire $e_1(n)$ 26, correspondant à la soustraction d'un signal d'écho estimé, obtenu par filtrage $H_1(n)$ 21 d'un signal reçu $x(n)$ 24, à un signal émis source $y(n)$ 25. Un tel signal émis source $y(n)$ 25, encore appelé signal microphonique, correspond soit à un écho seul, soit à un signal de parole locale seul, soit à la superposition d'un écho et d'un signal de parole locale.

15 Le filtre $H_2(n)$ 22 permet d'enlever au moins en partie la partie audible de l'écho résiduel, en supprimant les composantes fréquentielles du signal émis intermédiaire $e_1(n)$ 26 pour lesquelles l'écho résiduel est plus énergétique que le signal de la parole locale.

20 Selon cette technique, les coefficients du filtre $H_2(n)$ 28 sont adaptés en estimant l'écho résiduel à partir d'un mélange entre le signal émis source $y(n)$ 25 et le signal émis intermédiaire $e_1(n)$ 26, la contribution de chacun de ces deux signaux dans le mélange étant dépendante des conditions de parole.

Les coefficients du filtre $H_2(n)$ 28 ainsi adaptés sont alors copiés dans le post-filtre $H_2(n)$ 22. Les coefficients du post-filtre $H_2(n)$ 22 sont par conséquent identiques aux coefficients du filtre $H_2(n)$ 28.

25 Dans le document "A coupled adaptive filters for acoustic echo control and noise reduction" déjà cité, l'équation d'adaptation des coefficients du filtre $H_2(n)$ 28, adaptés selon l'algorithme NLMS de façon à minimiser l'erreur quadratique moyenne entre la sortie du filtre $H_2(n)$ 28, notée $u(n)$ 27, et le signal émis intermédiaire $e_1(n)$ 26 retardé, est donnée par :

$$H_2(n+1) = H_2(n) + \alpha_2 \frac{[e_1(n-\tau) - H_2(n)^T G(n)] G(n)}{G(n)^T G(n)}$$

30 avec α_2 un pas d'adaptation fixe, $\tau = \frac{M}{2}$ le retard introduit pour assurer la causalité du

filtre $H_2(n)$ approximé, et M un entier. Plus précisément, ce retard permet d'assurer la remise en phase du signal émis intermédiaire $e_1(n)$ 26 et du signal de mélange $g(n)$ entrant sur le filtre $H_2(n)$ 28).

Toujours selon ce document, le vecteur $G(n)$ représente le signal de mélange
 5 $g(n) = a(n)y(n) + (1 - a(n))e_1(n)$, calculé pour les M plus récents échantillons, pris comme entrée de référence pour le calcul des coefficients du filtre $H_2(n)$ 28, où $a(n)$ est un facteur de mélange adaptatif prenant des valeurs dans l'intervalle $[0, 1]$.

Ce facteur $a(n)$ permet de pondérer la contribution du signal microphonique
 10 $y(n)$ 25 (signal émis source) par rapport au signal émis intermédiaire 26 dans le signal $g(n)$.

Plus précisément, en situation de parole locale seule, le facteur de mélange $a(n)$ est choisi de sorte que le filtre $H_2(n)$ 28 (et par conséquent le filtre $H_2(n)$ 22) se comporte comme un filtre « passe-tout », c'est-à-dire ne modifiant pas le signal de la parole locale $y(n)$ 25.

15 En situation d'écho seul, le paramètre $a(n)$ est choisi tel que $a(n) = 1$, de sorte que le filtre $H_2(n)$ 28 (et par conséquent le filtre $H_2(n)$ 22) permette d'apporter une atténuation maximale du résidu d'écho, égale à celle obtenue par l'annuleur d'écho.

En condition de double parole, une valeur plus faible est préférable afin d'éviter la distorsion du signal de parole locale.

20 Selon la technique proposée dans ce document, l'adaptation du facteur de mélange $a(n)$ doit dépendre implicitement d'un autre facteur mesurant l'activité vocale du locuteur local et du locuteur distant.

Le meilleur choix de ce facteur correspond au pas d'adaptation variable $\alpha_1(n)$ du filtre $H_1(n)$ de l'annuleur d'écho, soit :

$$25 \quad a(n) = \begin{cases} 0,3 & \text{pour } \alpha_1(n) < 0,01 \\ 0,07\alpha_1(n) + 0,3 & \text{pour } 0,01 \leq \alpha_1(n) \leq 10 \\ 1 & \text{pour } \alpha_1(n) > 10 \end{cases}$$

Cette équation d'adaptation du facteur de mélange permet de distinguer trois situations :

- dans le cas où $\alpha_1(n) < 0,01$, c'est-à-dire en l'absence de signal d'écho et en présence du signal de parole locale seul, une valeur faible $a(n) = 0,3$ est affectée au facteur de mélange. Ainsi, quelque soit la valeur de $a(n)$, le filtre
- 30

$H_2(n)$ 28 (et par conséquent le post-filtre $H_2(n)$ 22) se comporte comme un passe-tout en présence de parole locale seule.

- dans le cas où $0,01 \leq \alpha_1(n) \leq 10$, c'est-à-dire dans une situation de double parole (présence à la fois de la parole locale et du signal d'écho), le facteur de mélange $a(n)$ prend des valeurs entre 0,3 et 1, en fonction de la pondération de l'écho par rapport à la parole locale.
- dans le cas où $\alpha_1(n) > 10$, c'est-à-dire dans une situation d'écho seul, le facteur de mélange $a(n)$ prend la valeur 1 afin d'obtenir une atténuation maximale de l'écho.

10 Bien que cette technique de l'art antérieur présente de meilleurs résultats que la première approche en terme de réduction d'écho, ceux-ci demeurent toutefois insuffisants.

En effet, il existe une forte dépendance d'efficacité entre l'annuleur d'écho et le post-filtre qui ne permet pas de rendre l'écho inaudible. Par conséquent, un
15 inconvénient majeur de cette technique réside dans la dépendance entre l'annuleur d'écho et le post-filtre.

Les variations rapides du facteur de mélange $a(n)$ selon un fonctionnement prédéfini entraînent alors des contrastes audibles, dus à des distorsions de la parole locale lors des périodes de transitions (passage d'une situation d'écho seul à une
20 situation de double parole, d'une situation de double parole à une situation d'écho seul, d'une situation de parole seule à une situation de double parole).

D'autres techniques proposant l'emploi de structure en boucle ouverte dans le domaine fréquentiel pour le calcul des coefficients du post-filtre $H_2(n)$ 22 ont également été proposées.

25 Cependant, ces techniques ne permettent pas de s'affranchir de la dépendance entre l'annuleur d'écho et le post-filtre, et introduisent généralement des distorsions en situation de double parole.

Un autre inconvénient de ces techniques dans des applications de communication est qu'elles introduisent un délai de traitement supplémentaire, lié à la
30 nécessité de faire une analyse fréquentielle par blocs pour estimer la fonction de transfert du post-filtre.

D'autres techniques classiques présentent également l'inconvénient d'altérer la qualité de la communication en provoquant la coupure des débuts et des fins de mots et en générant des contrastes entre les instants de fort et de faible gain.

3. Objectifs de l'invention

5 L'invention a notamment pour objectif de pallier ces inconvénients de l'art antérieur.

Plus précisément, un objectif de l'invention est de proposer une technique d'annulation d'un écho permettant d'améliorer l'intelligibilité et l'interactivité d'une conversation.

10 Ainsi, un objectif de l'invention est de fournir une telle technique qui permette de supprimer, ou à tout le moins de réduire, la partie audible d'un écho résiduel, sans engendrer de dégradations perceptibles sur un signal de parole locale.

L'invention a également pour objectif de proposer une telle technique ne nécessitant pas l'introduction d'un délai de traitement supplémentaire.

15 Un autre objectif de l'invention est de proposer une telle technique qui soit simple à mettre en œuvre, tout en présentant des performances améliorées en terme de réduction d'écho par rapport aux techniques de l'état de l'art.

4. Résumé de l'invention

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints à
20 l'aide d'un dispositif d'annulation d'un écho acoustique correspondant à un signal reçu présent dans un signal émis source, comprenant des premiers moyens de soustraction audit signal émis source d'un signal d'écho estimé, obtenu par filtrage dudit signal reçu, délivrant un signal émis intermédiaire (annuleur d'écho), et des premiers moyens de filtrage dudit signal émis intermédiaire, dont les coefficients de filtrage sont déterminés
25 par des moyens de calcul de coefficients.

Selon l'invention, lesdits moyens de calcul d'un tel dispositif comprennent des moyens de rehaussement, dans ledit signal émis source, d'au moins une composante spectrale représentative dudit écho, pour fournir un signal rehaussé, et des moyens de traitement dudit signal rehaussé, délivrant lesdits coefficients de filtrage.

30 Ainsi, l'invention repose sur une approche tout à fait nouvelle et inventive de la détermination des coefficients d'un post-filtre, correspondant aux premiers moyens de

filtrage, permettant d'éliminer ou à tout le moins de réduire la partie audible d'un écho résiduel, sans engendrer de dégradations perceptibles sur un signal de parole locale.

Plus précisément, l'invention propose de renforcer l'impact d'une composante spectrale importante, dans un signal dit rehaussé, pour que l'effet de cette composante soit ensuite plus efficacement filtré, et donc que l'écho soit ensuite plus efficacement filtré, et donc que l'écho correspondant soit plus efficacement supprimé.

Ainsi, le rehaussement de certaines composantes spectrales correspondant à l'écho permet de réduire davantage ces composantes lors de l'opération de post-filtrage.

Avantageusement, lesdits moyens de rehaussement tiennent compte d'au moins un signal appartenant au groupe comprenant :

- ledit signal émis source ;
- ledit signal d'écho estimé ;
- ledit signal émis intermédiaire.

On peut en effet remarquer que le signal émis source peut correspondre soit à un écho seul, soit à un signal de parole locale seul, soit à un écho superposé à un signal de parole locale, et que le signal émis intermédiaire peut correspondre soit à un écho résiduel seul, soit à un écho résiduel superposé à un signal de parole locale. Par conséquent, les trois signaux précités portent effectivement une information relative à l'écho.

De façon préférentielle, lesdits moyens de rehaussement comprennent au moins un filtre perceptuel. Un tel filtre utilise notamment des propriétés perceptuelles de l'oreille humaine.

Le signal ou la combinaison de signaux portant une information relative à l'écho sert notamment de référence pour estimer les coefficients du filtre perceptuel.

Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, lesdits moyens de rehaussement comprennent également un filtre de prédiction linéaire d'ordre m de fonction de transfert :

$$A(z) = 1 + \sum_{i=1}^m a_i z^{-i}$$

avec m un entier ;

z une variable associée à la transformée en z du filtre A ;

a_i les coefficients dudit filtre de prédiction linéaire ;

la fonction de transfert dudit filtre perceptuel étant définie par :

$$W(z) = \frac{A\left(\frac{z}{\gamma_1}\right)}{A\left(\frac{z}{\gamma_2}\right)}$$

avec γ_1 et γ_2 des facteurs perceptuels, tels que $0 < \gamma_1 < \gamma_2 \leq 1$.

5 Selon ce mode de réalisation avantageux, on détermine un filtre perceptuel qui attribue plus d'importance aux zones fréquentielles énergétiques.

Pour déterminer les coefficients de ce filtre perceptuel, un modèle autorégressif AR est appliqué à chaque trame du signal, ou de la combinaison de signaux, portant une information représentative de l'écho.

10 Une telle modélisation AR peut notamment mettre en œuvre un filtre de prédiction linéaire d'ordre m .

Cette technique de prédiction par régression linéaire entre notamment en compte dans le calcul de la fonction de transfert du filtre perceptuel.

15 Le choix des valeurs numériques des facteurs perceptuels γ_1 et γ_2 permet notamment de moduler la fonction de pondération, c'est-à-dire d'accorder plus ou moins d'importance aux composantes spectrales représentatives de l'écho.

Si les deux valeurs sont presque égales et proches de l'unité, elles n'apportent aucune pondération spectrale.

20 En revanche, si la différence entre les deux valeurs devient de plus en plus importante, le filtre perceptuel permet d'accorder plus d'importance aux zones fréquentielles significatives où l'écho est présent.

Préférentiellement, ledit filtre perceptuel est un filtre à phase linéaire.

25 L'approximation du filtre perceptuel par un filtre à phase linéaire d'ordre m permet notamment de s'affranchir d'éventuels problèmes d'instabilité liés au modèle autorégressif, et notamment à l'application d'un modèle autorégressif à moyenne mobile.

De façon avantageuse, lesdits moyens de traitement comprennent des seconds moyens de filtrage, alimentés par ledit signal rehaussé, et des seconds moyens de

soustraction, retranchant au signal délivré par lesdits seconds moyens de filtrage ledit signal émis intermédiaire, auquel on a appliqué un retard, et délivrant un signal d'erreur pris en compte pour le calcul des coefficients de filtrage desdits seconds moyens de filtrage.

5 Ainsi, le signal rehaussé issu du filtre perceptuel, correspondant au signal émis source dans lequel au moins une composante spectrale représentative de l'écho est rehaussée, alimente des seconds moyens de filtrage.

Les coefficients de filtrage de ces seconds moyens sont adaptés en tenant compte d'un signal d'erreur correspondant au signal en sortie de ces seconds moyens de filtrage
10 auquel on a retranché le signal émis intermédiaire retardé.

Plus précisément, un retard pur correspondant à D échantillons est appliqué au signal émis intermédiaire, afin que le signal d'erreur et le signal rehaussé soient en phase, avec D un entier défini par la relation :

$$D = \begin{cases} \frac{m}{2} & \text{si } m \text{ est pair} \\ \frac{m-1}{2} & \text{si } m \text{ est impair} \end{cases}$$

15 où m est l'ordre du filtre perceptuel.

De manière préférentielle, les coefficients de filtrage desdits premiers moyens de filtrage, notés $H_3(n)$, tiennent compte des coefficients de filtrage desdits seconds moyens de filtrage, notés $H_2(n)$, et d'un coefficient adaptatif α_3 .

Ainsi, les coefficients des premiers moyens de filtrage sont définis par
20 l'équation :

$$H_3(n) = \alpha_3(n)H_2(n) + (1 - \alpha_3(n))I$$

avec $I = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0]$

Le coefficient adaptatif α_3 peut notamment tenir compte d'au moins un élément appartenant au groupe comprenant :

- 25
- la puissance instantanée relative audit signal reçu ;
 - la puissance instantanée relative audit signal émis source ;
 - la puissance instantanée relative audit signal émis intermédiaire ;
 - la fonction de transfert des moyens de filtrage du signal reçu.

Ainsi, selon un mode de réalisation particulier de l'invention, le coefficient

adaptatif α_3 peut être mis à jour de manière continue et régulière.

Notamment, en situation de parole locale seule, le coefficient $\alpha_3(n)$ tend vers 0. Dans ce cas, les premiers moyens de filtrage du signal émis intermédiaire sont définis par $H_3(n) = I = [1 \ 0 \ \dots \ 0]$. Il s'agit donc d'un filtre passe-tout, qui ne distord pas
5 la parole locale.

En situation d'écho seul, le coefficient $\alpha_3(n)$ tend vers 1. Dans ce cas, les coefficients des premiers moyens de filtrage sont identiques aux coefficients des seconds moyens de filtrage $H_3(n) = H_2(n)$. Une atténuation maximale de l'écho est apportée grâce à la présence du filtre perceptuel dans la boucle fermée.

10 En situation de double parole, c'est-à-dire en présence d'un signal de parole locale et d'un écho, le coefficient $\alpha_3(n)$ prend des valeurs entre 0 et 1 selon la pondération de l'écho par rapport à la parole locale.

L'invention concerne également le procédé d'annulation d'un écho acoustique mis en œuvre dans un dispositif tel que décrit ci-dessus, ainsi qu'un programme
15 d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé d'annulation d'un écho acoustique décrit précédemment lorsque ledit programme est exécuté par un microprocesseur.

5. Liste des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement
20 à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés, parmi lesquels :

- la figure 1, déjà commentée en relation avec l'art antérieur, présente un dispositif classique d'annulation d'écho comprenant un filtre adaptatif, utilisé par exemple dans une application de téléphonie ou de téléconférence entre un ou plusieurs
25 correspondant distant(s) et un correspondant local ;
- la figure 2 décrit plus précisément un système combinant un annuleur d'écho acoustique adaptatif et un post-filtre, selon l'art antérieur ;
- la figure 3 illustre un dispositif d'annulation d'écho acoustique comprenant des moyens de filtrage des composantes spectrales d'écho et des moyens de calcul des coefficients de filtrage selon l'invention ;
30
- la figure 4 présente plus en détail le fonctionnement des moyens de calcul des

coefficients de filtrage de la figure 3 selon l'invention.

6. Description d'un mode de réalisation de l'invention

Le principe général de l'invention repose sur une approche nouvelle et originale du calcul des coefficients d'un post-filtre dans un système combinant un annuleur
5 d'écho classique et un post-filtre. Une telle technique permet notamment de supprimer, ou à tout le moins de réduire, des composantes d'écho d'un signal reçu dans un signal émis.

Le calcul des coefficients du post-filtre prend notamment en compte un signal rehaussé, obtenu en rehaussant au moins une composante spectrale représentative de
10 l'écho dans le signal émis, de sorte à apporter, lors du filtrage, une atténuation maximale de l'écho.

Ainsi, les coefficients du post-filtre sont déterminés en tenant compte des propriétés perceptuelles de l'oreille humaine.

On présente, en relation avec la figure 3, un mode de réalisation préférentiel de
15 l'invention dans lequel au moins un locuteur distant 31 communique avec un locuteur local 32, par exemple dans une situation de téléconférence.

Dans une telle situation, un signal reçu $x(n)$ 33 correspond à la parole émise par le locuteur distant 31, et un signal émis source $y(n)$ 34 correspond à un signal de parole locale émis par le locuteur local 32 auquel peuvent être superposées des composantes
20 d'écho du signal reçu $x(n)$ 33.

Comme décrit précédemment en relation avec l'art antérieur, le signal reçu $x(n)$ 33 est filtré au moyen d'un filtre $H_1(n)$ 351, délivrant un signal d'écho estimé $z(n)$ 352.

Le signal d'écho estimé $z(n)$ 352 est ensuite soustrait à l'aide de premiers
25 moyens de soustraction 353 au signal émis source $y(n)$ 34, délivrant un signal émis intermédiaire $e_1(n)$ 36.

Cette première partie du dispositif correspond à un annuleur d'écho acoustique classique tel que décrit en relation avec l'art antérieur.

Selon l'invention, le dispositif d'annulation de l'écho comprend également des
30 premiers moyens de filtrage $H_3(n)$ 39 du signal émis intermédiaire $e_1(n)$ 36. Les coefficients de filtrage du filtre $H_3(n)$ 39 sont notamment déterminés par des moyens

de calcul 38 des coefficients, à partir d'une structure en boucle fermée.

Ces moyens de calcul 38 prennent notamment en compte un signal $t(n)$ 37, correspondant à un signal ou à une combinaison de signaux portant une information représentative de l'écho, pour la détermination des coefficients de filtrage des premiers
5 moyens de filtrage $H_3(n)$ 39.

Plus précisément, ce signal $t(n)$ 37 peut être choisi parmi les différents signaux où l'information de l'écho est présente, c'est-à-dire parmi le signal émis source $y(n)$ 34, le signal d'écho estimé $z(n)$ 352, ou le signal émis intermédiaire $e_1(n)$ 36, ou encore parmi une combinaison de ces signaux.

10 Comme illustré en figure 4, les moyens de calcul 38 des coefficients de filtrage du filtre $H_3(n)$ 39 comprennent des moyens de rehaussement 386, dans le signal émis source $y(n)$ 34, d'au moins une composante spectrale représentative de l'écho, délivrant un signal rehaussé et des moyens de traitement 387 du signal rehaussé, délivrant les coefficients de filtrage des premiers moyens de filtrage $H_3(n)$ 39.

15 Plus précisément, les moyens de rehaussement 386 comprennent un filtre perceptuel $W(z)$ 382 tenant compte des propriétés perceptuelles de l'oreille humaine. Un tel filtre $W(z)$ 382 permet de rehausser certaines composantes spectrales correspondant à l'écho dans le signal émis source $y(n)$ 34, dans le but de réduire davantage ces composantes d'écho lors des opérations de filtrage.

20 Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, une technique de prédiction linéaire est mise en œuvre pour déterminer la fonction de transfert du filtre perceptuel $W(z)$ 382. Cette technique, décrite par B. Atal et M. Schroeder dans le document "*Predictive coding of speech signals and subjective error criteria*" (IEEE trans. On Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 27, pp. 247 – 254, Issue. 3,
25 Juin 1979) permet notamment de déterminer un filtre perceptuel attribuant plus d'importance aux zones fréquentielles énergétiques.

Ainsi, selon cette technique, un modèle autorégressif est appliqué à chaque trame du signal $t(n)$ 37. Ce modèle comprend notamment un filtre de prédiction linéaire 381 d'ordre m , défini par :

30
$$A(z) = 1 + \sum_{i=1}^m a_i z^{-i}$$

avec m un entier ;

z une variable associée à la transformée en z du filtre A ;

a_i les coefficients dudit filtre de prédiction linéaire.

Ce filtre $A(z)$ 381 est utilisé pour le calcul de la fonction de transfert du filtre perceptuel $W(z)$ 382 :

$$5 \quad W(z) = \frac{A\left(\frac{z}{\gamma_1}\right)}{A\left(\frac{z}{\gamma_2}\right)}$$

avec γ_1 et γ_2 des facteurs perceptuels, tels que $0 < \gamma_1 < \gamma_2 \leq 1$.

Les valeurs numériques affectées aux facteurs perceptuels γ_1 et γ_2 permettent notamment de moduler la fonction de pondération, c'est-à-dire d'accorder plus ou moins d'importance à certaines composantes spectrales.

10 Par ailleurs, afin de s'affranchir des éventuels problèmes d'instabilité liés au modèle autorégressif et à la structure autorégressive à moyenne mobile (ARMA) du filtre perceptuel $W(z)$ 382, il est souhaitable, selon ce mode de réalisation avantageux, d'approcher le filtre perceptuel $W(z)$ 382 par un filtre $\hat{W}(n)$ à phase linéaire de m coefficients.

15 Selon l'invention, le signal émis source $y(n)$ 34 est alors filtré par le filtre perceptuel approché $\hat{W}(n)$, délivrant un signal rehaussé dans lequel les composantes spectrales correspondant aux zones fréquentielles les plus énergétiques sont rehaussées. Autrement dit, ce signal rehaussé correspond au signal émis source $y(n)$ 34 dans lequel au moins une composante spectrale représentative de l'écho est rehaussée.

20 Le signal rehaussé ainsi délivré alimente des seconds moyens de filtrage adaptatifs $H_2(n)$ 383, dont les coefficients sont adaptés en tenant compte d'un signal d'erreur.

Plus précisément, selon l'invention, on applique un retard 384 de D échantillons au signal émis intermédiaire $e_1(n)$ 36, puis on soustrait ce signal retardé au signal 25 délivré par les seconds moyens de filtrage adaptatifs $H_2(n)$ 383, au moyen de seconds moyens de soustraction 385, pour délivrer le signal d'erreur.

Ce retard pur de D échantillons appliqué au signal émis intermédiaire $e_1(n)$ 36 permet de mettre en phase le signal d'erreur et le signal rehaussé. Le nombre D

d'échantillons est notamment défini par la relation :

$$D = \begin{cases} \frac{m}{2} & \text{si } m \text{ est pair} \\ \frac{m-1}{2} & \text{si } m \text{ est impair} \end{cases}$$

L'invention propose ainsi une mise à jour temporelle échantillon par échantillon des coefficients des premiers et seconds moyens de filtrage.

5 Ainsi, si les deux valeurs γ_1 et γ_2 sont presque égales et proches de l'unité, elles n'apportent aucune pondération spectrale : dans ce cas, le filtre perceptuel $W(z)$ 382 permet uniquement de retarder le signal émis source $y(n)$ 34 de D échantillons. On se trouve alors dans la situation présentée en relation avec l'art antérieur, pour un facteur de mélange $a(n) = 1$.

10 Si au contraire la différence entre les deux valeurs γ_1 et γ_2 devient de plus en plus importante, le filtre $W(z)$ 382 permet d'accorder plus d'importance aux zones fréquentielles significatives où l'écho est présent, c'est-à-dire aux zones fréquentielles les plus énergétiques.

Les coefficients des seconds moyens de filtrage adaptatifs $H_2(n)$ 383 sont alors pris en compte dans la détermination des coefficients des premiers moyens de filtrage $H_3(n)$ 39.

Plus précisément, les coefficients du post-filtre $H_3(n)$ 39 sont déterminés à partir de l'équation :

$$H_3(n) = \alpha_3(n)H_2(n) + (1 - \alpha_3(n))I$$

20 avec $I = [1 \ 0 \ \dots \ 0]$ et $\alpha_3(n)$ est un coefficient adaptatif.

Selon ce mode de réalisation préférentiel de l'invention, le coefficient adaptatif $\alpha_3(n)$ est mis à jour d'une manière continue et régulière.

Ce coefficient adaptatif $\alpha_3(n)$ est fonction des puissances instantanées $P_x(n)$, $P_y(n)$ et $P_{e_1}(n)$ relatives au signal reçu $x(n)$ 33, au signal émis source $y(n)$ 34 et au signal émis intermédiaire $e_1(n)$ 36 respectivement, et de la fonction de transfert des moyens de filtrage $H_1(n)$ 351 du signal reçu :

$$\alpha_3(n) = f[P_x(n), P_y(n), P_{e_1}(n), H_1(n)]$$

Plus précisément, ce coefficient $\alpha_3(n)$ obéit au comportement suivant :

- $\alpha_3(n)$ tend vers 0 dans une situation de parole locale seule : dans ce cas, les

premiers moyens de filtrage $H_3(n)$ 39 se comportent comme un filtre passe-tout, ne distordant donc pas la parole locale, et ses coefficients sont donnés par $H_3(n) = I = [1 \ 0 \ \dots \ 0]$;

- $\alpha_3(n)$ tend vers 1 dans une situation d'écho seul : dans ce cas, les premiers
5 moyens de filtrage $H_3(n)$ 39 et les seconds moyens de filtrage $H_2(n)$ 383
sont identiques ($H_3(n) = H_2(n)$), et l'écho est atténué au maximum grâce à
la présence du filtre perceptuel $W(z)$ dans la boucle fermée ;
- $\alpha_3(n)$ est compris entre 0 et 1 dans une situation de double parole, c'est-à-
dire d'écho superposé à la parole locale : la valeur du coefficient $\alpha_3(n)$
10 dépend de la pondération associée aux composantes spectrales
représentatives de l'écho par rapport à la parole locale.

Il est bien entendu la définition du coefficient $\alpha_3(n)$ donnée ci-dessus constitue un simple exemple et que toute méthode répondant au comportement décrit ci-dessus peut être utilisée pour calculer le coefficient adaptatif $\alpha_3(n)$.

- 15 Ainsi, selon l'invention, l'introduction d'un filtre perceptuel $W(z)$ 382 dans une
structure à boucle fermée permet de rehausser certaines composantes spectrales
correspondant à l'écho, permettant ainsi aux seconds moyens de filtrage $H_2(n)$ 383 qui
exploitent ce rehaussement d'apporter une atténuation maximale de cet écho.

Les coefficients des premiers moyens de filtrage $H_3(n)$ 39 sont alors adaptés en
20 fonction des coefficients des seconds moyens de filtrage $H_2(n)$ 383.

Un tel dispositif est particulièrement attractif et intéressant pour la commercialisation, du fait de sa faible complexité numérique.

- 25 De plus, contrairement aux techniques de l'art antérieur, l'adaptation continue
du coefficient $\alpha_3(n)$ permet d'éviter les variations rapides d'un facteur de mélange
 $a(n)$, engendrées par des distorsions de la parole locale lors des périodes de transition,
entraînant des contrastes de niveau (et de bruit en situation bruitée) sur le signal de
parole.

Par ailleurs, il est important de noter que le dispositif selon l'invention peut être
implanté en local dans un terminal de communication et/ou dans une plate-forme
30 centralisée au sein de réseaux de communications.

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'annulation d'un écho acoustique correspondant à un signal reçu (33), présent dans un signal émis source (34),
comprenant des premiers moyens de soustraction (353) audit signal émis source (34)
5 d'un signal d'écho estimé (352), obtenu par filtrage dudit signal reçu (33), délivrant un signal émis intermédiaire (36),
et des premiers moyens de filtrage (39) dudit signal émis intermédiaire (36), dont les coefficients de filtrage sont déterminés par des moyens de calcul de coefficients, caractérisé en ce que lesdits moyens de calcul comprennent des moyens de
10 rehaussement, dans ledit signal émis source (34), d'au moins une composante spectrale représentative dudit écho, pour fournir un signal rehaussé,
et des moyens de traitement dudit signal rehaussé, délivrant lesdits coefficients de filtrage.

2. Dispositif d'annulation d'un écho selon la revendication 1, caractérisé en ce que
15 lesdits moyens de rehaussement tiennent compte d'au moins un signal appartenant au groupe comprenant :

- ledit signal émis source (34) ;
- ledit signal d'écho estimé (352) ;
- ledit signal émis intermédiaire (36).

20 3. Dispositif d'annulation d'un écho selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que lesdits moyens de rehaussement comprennent au moins un filtre perceptuel.

4. Dispositif d'annulation d'un écho la revendication 3, caractérisé en ce que lesdits moyens de rehaussement comprennent également un filtre de prédiction linéaire
25 d'ordre m de fonction de transfert :

$$A(z) = 1 + \sum_{i=1}^m a_i z^{-i}$$

avec m un entier ;
 z une variable associée à la transformée en z dudit filtre de prédiction linéaire ;
30 a_i les coefficients dudit filtre de prédiction linéaire ;

et en ce que la fonction de transfert dudit filtre perceptuel est définie par :

$$W(z) = \frac{A\left(\frac{z}{\gamma_1}\right)}{A\left(\frac{z}{\gamma_2}\right)}$$

avec γ_1 et γ_2 des facteurs perceptuels, tels que $0 < \gamma_1 < \gamma_2 \leq 1$.

5 **5.** Dispositif d'annulation d'un écho selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement comprennent des seconds moyens de filtrage (383), alimentés par ledit signal rehaussé, et des seconds moyens de soustraction (385), retranchant au signal délivré par lesdits seconds moyens de filtrage (383) ledit signal émis intermédiaire (36), auquel on a appliqué un retard, et délivrant un signal d'erreur pris en compte pour le calcul des coefficients de filtrage desdits seconds
10 moyens de filtrage (383).

6. Dispositif d'annulation d'un écho selon la revendication 5, caractérisé en ce que les coefficients de filtrage desdits premiers moyens de filtrage (39) tiennent compte des coefficients de filtrage desdits seconds moyens de filtrage (383) et d'un coefficient adaptatif α_3 .

15 **7.** Dispositif d'annulation d'un écho selon la revendication 6, caractérisé en ce que les coefficients desdits premiers moyens de filtrage (39) sont définis par l'équation :

$$H_3(n) = \alpha_3(n)H_2(n) + (1 - \alpha_3(n))I$$

avec : $H_2(n)$ les coefficients desdits seconds moyens de filtrage (383) ;

$$I = [1 \ 0 \ \dots \ 0].$$

20 **8.** Dispositif d'annulation d'un écho selon l'une quelconque des revendications 6 et 7, caractérisé en ce que ledit coefficient adaptatif α_3 tient compte d'au moins un élément appartenant au groupe comprenant :

- la puissance instantanée relative audit signal reçu ;
- la puissance instantanée relative audit signal émis source ;
- 25 - la puissance instantanée relative audit signal émis intermédiaire ;
- la fonction de transfert des moyens de filtrage du signal reçu.

9. Procédé d'annulation d'un écho acoustique correspondant à un signal reçu (33), présent dans un signal émis source (34), comprenant :

une étape de soustraction audit signal émis source (34) d'un signal d'écho estimé (352), obtenu par filtrage dudit signal reçu (33), délivrant un signal émis intermédiaire (36), une étape de filtrage dudit signal émis intermédiaire (36), mettant en œuvre des premiers moyens de filtrage (39),

5 et une étape de calcul des coefficients des premiers moyens de filtrage (39), caractérisé en ce que ladite étape de calcul comprend :

- une sous-étape de rehaussement, dans ledit signal émis source (34), d'au moins une composante spectrale représentative dudit écho, délivrant un signal rehaussé, et
- 10 - une sous-étape de traitement dudit signal rehaussé, délivrant lesdits coefficients de filtrage.

10. Programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé d'annulation d'un écho acoustique selon la revendication 9 lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

15 **11.** Produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme enregistré sur un support utilisable dans ou par un ordinateur, ledit programme permettant l'annulation d'un écho acoustique correspondant à un signal reçu (33), présent dans un signal émis source (34), ledit produit programme d'ordinateur comprenant :

- 20 - des moyens de programmation lisibles par ordinateur pour effectuer une étape de soustraction audit signal émis source (34) d'un signal d'écho estimé (352), obtenu par filtrage dudit signal reçu (33), délivrant un signal émis intermédiaire (36) ;
- des moyens de programmation lisibles par ordinateur pour effectuer une
- 25 étape de filtrage dudit signal émis intermédiaire (36) ;
- des moyens de programmation lisibles par ordinateur pour effectuer une étape de calcul des coefficients de filtrage pris en compte lors de ladite étape de filtrage ;

caractérisé en ce que ledit produit programme d'ordinateur comprend également des

30 moyens de programmation lisibles par ordinateur pour effectuer, lors de ladite étape de calcul, une sous-étape de rehaussement, dans ledit signal émis source (34), d'au moins

une composante spectrale représentative dudit écho, délivrant un signal rehaussé, et une sous-étape de traitement dudit signal rehaussé, délivrant lesdits coefficients de filtrage.

1/2

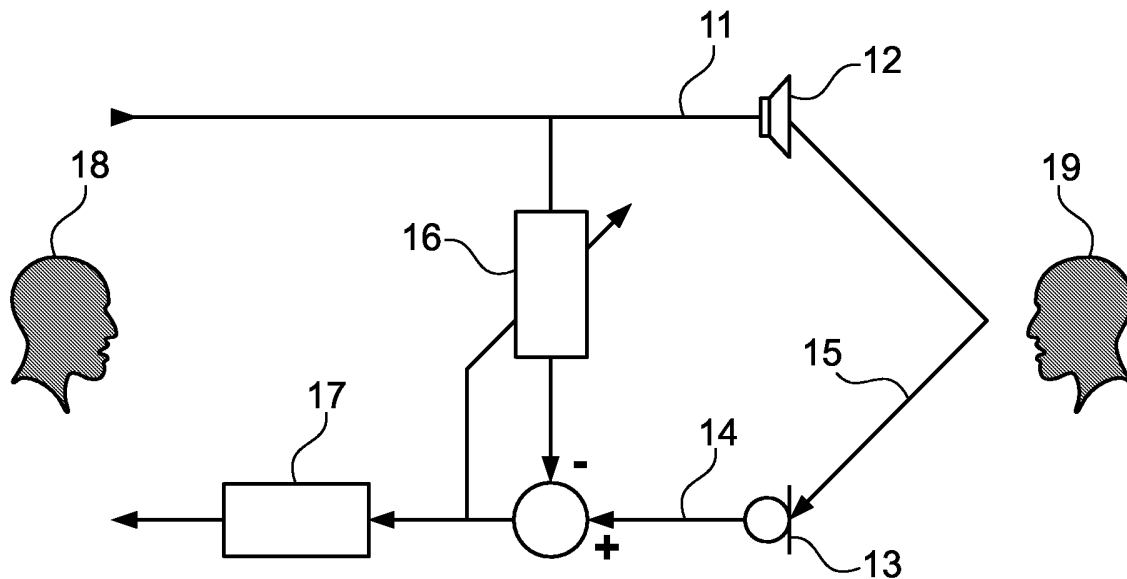


Fig. 1

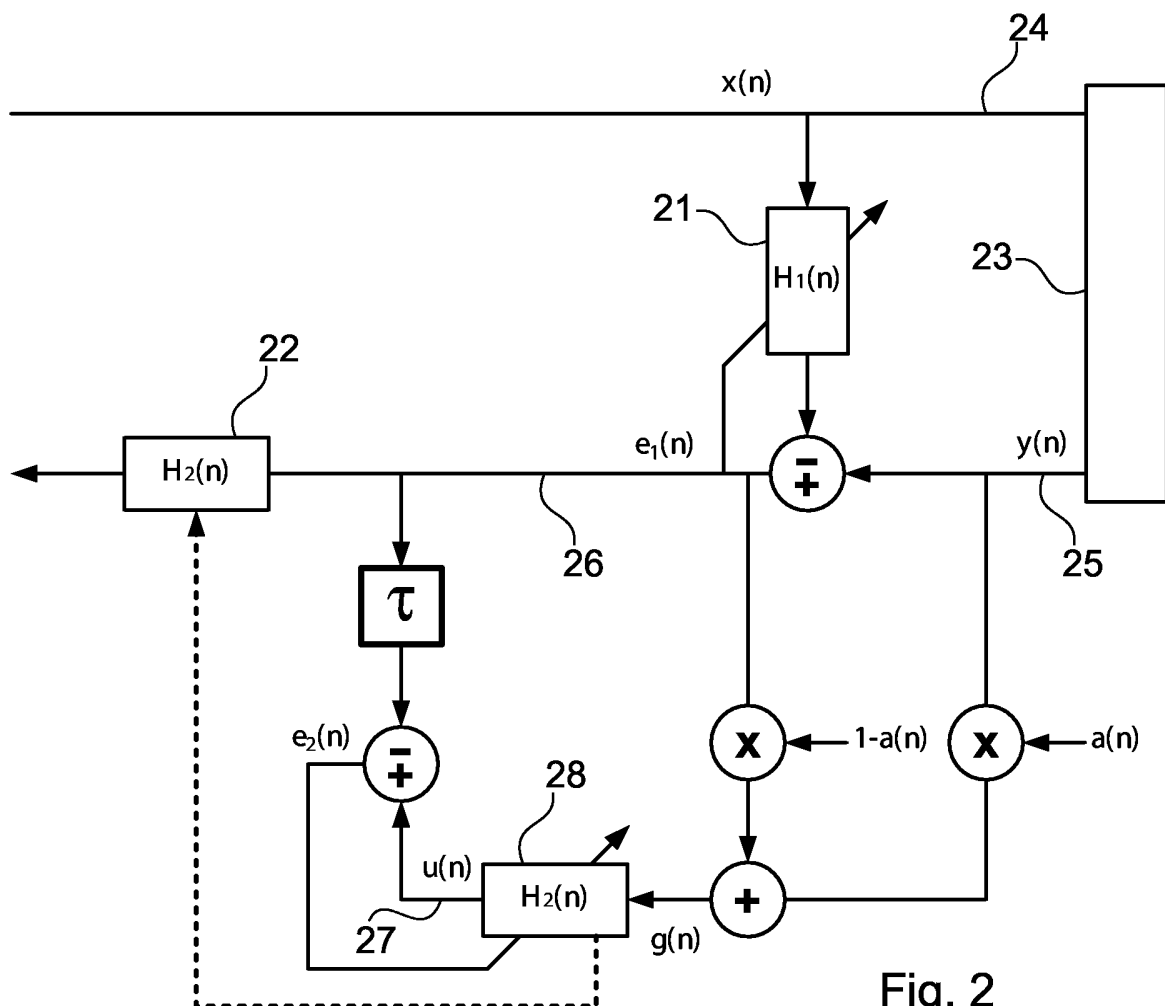


Fig. 2

2/2

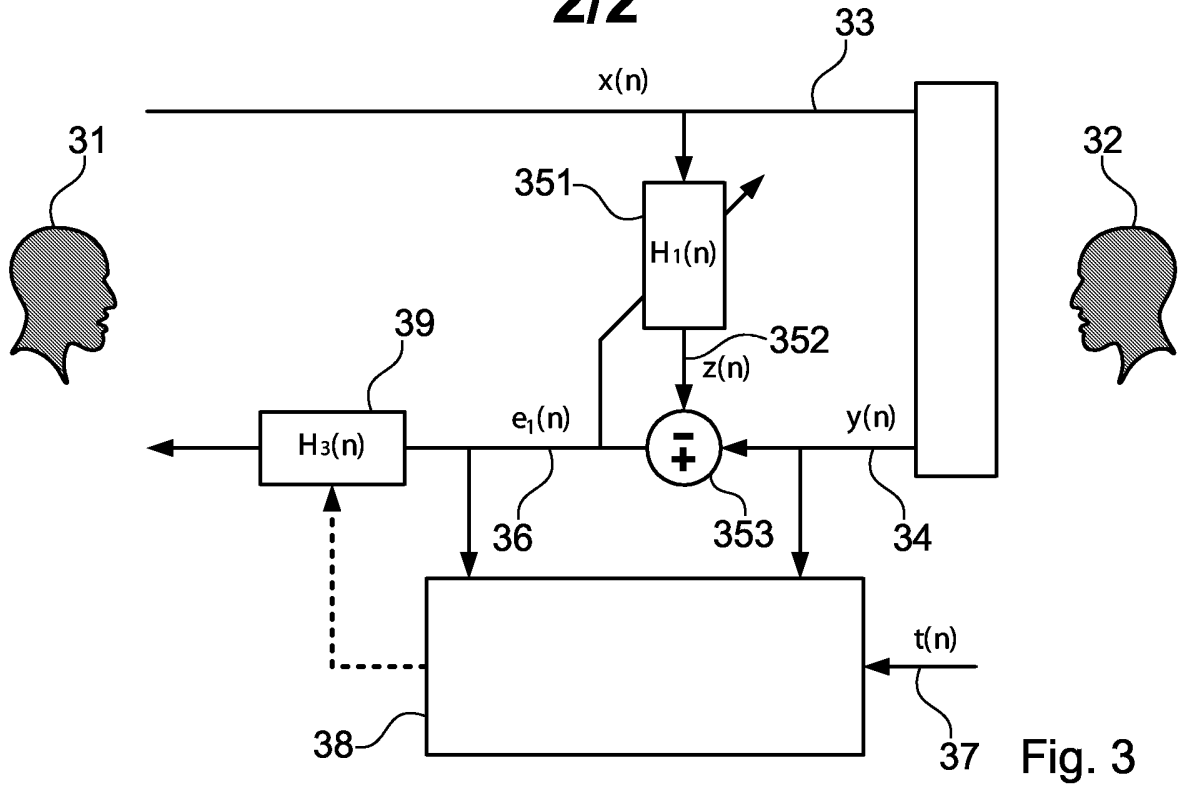


Fig. 3

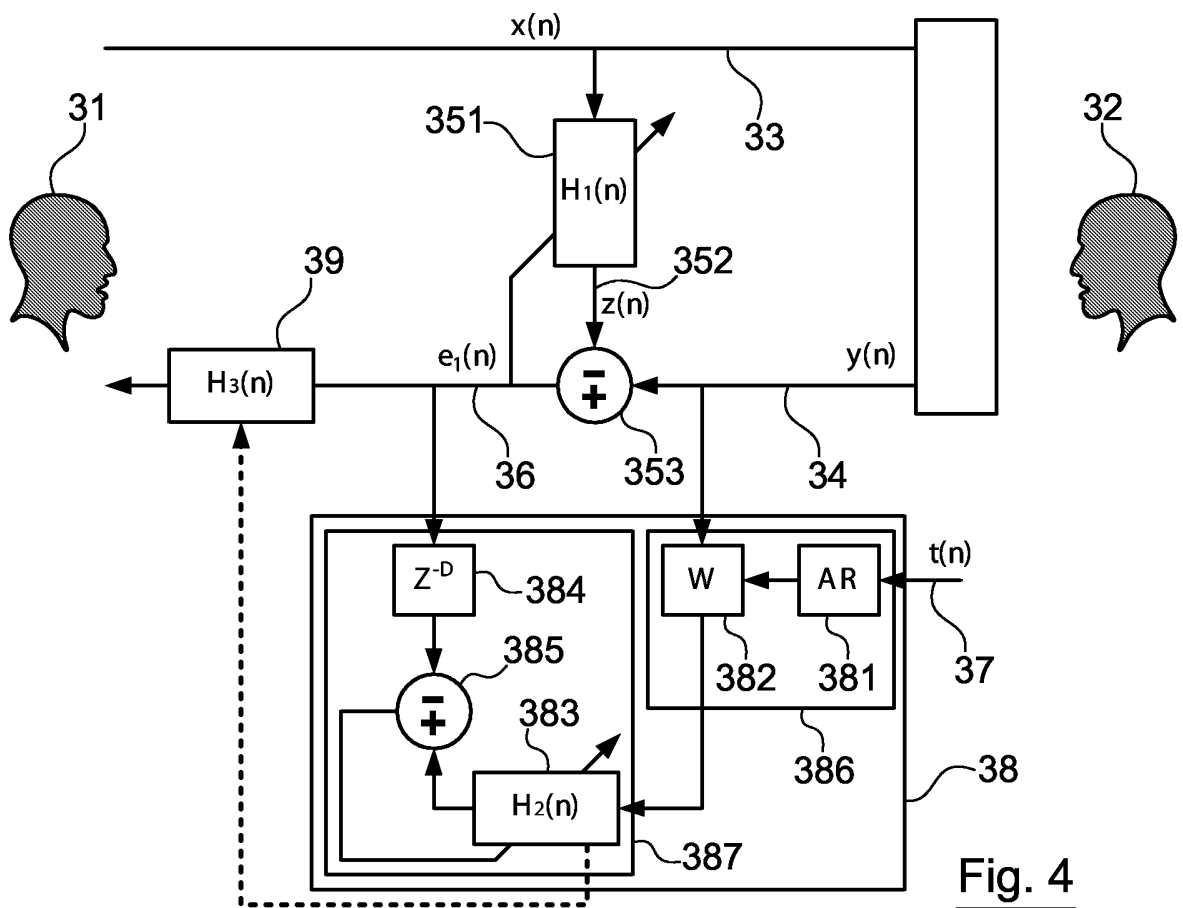


Fig. 4