RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 510 288**
(A n'utiliser que pour les commandes de reproduction).

A1

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

(21) **N° 81 14388**

(54) **Procédé et dispositif de génération de bruits sous-marins, en particulier pour la simulation de bruits sonar.**

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). **G 10 L 1/02; G 01 S 15/88; G 06 F 15/332.**

(22) Date de dépôt..... 24 juillet 1981.
(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 4 du 28-1-1983.

(71) Déposant : LABORATOIRE CENTRAL DE TELECOMMUNICATIONS, société anonyme. — FR.

(72) Invention de : François Ricardo Grassot et Annie Marie Léontine Lelarge.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Pierre L. Grandry, LCT (service des brevets),
BP 40, 78141 Vélizy-Villacoublay Cedex.

La présente invention concerne un procédé et un dispositif de génération de bruits sous-marins, en particulier pour la simulation des bruits fournis par un sonar, en vue de l'entraînement des opérateurs militaires.

Dans la guerre sous-marine, le sonar s'est avéré un dispositif de détection très utile et il est particulièrement efficace comme instrument d'écoute passive sous-marine. A bord des sous-marins, c'est un élément essentiel d'évaluation des situations tactiques en permettant la détection des mouvements en surface ou en profondeur et un opérateur sonar entraîné peut même, dans beaucoup de cas, simplement à l'écoute des bruits captés par le sonar, reconnaître les sources de ces bruits (hélice, machine diesel, etc.) et identifier éventuellement leur type et celui du navire ou de l'engin en mouvement. Cependant, pour arriver à cela, il faut donner un entraînement suivi aux opérateurs et cela pose donc le problème de la simulation des bruits sonar de façon à pouvoir recréer des situations pouvant se produire dans la réalité.

On pourrait penser à faire des enregistrements des différents bruits sonar intéressants, mais, outre que cela n'est pas toujours possible, la recréation de situations simulées dont les caractéristiques varient nécessiterait un nombre d'enregistrements prohibitif, ce qui rend cette solution impraticable.

Une solution qui remédie à ces inconvénients consiste à synthétiser électroniquement ces bruits, ce qui doit permettre d'agir facilement sur les différents paramètres des bruits synthétisés.

L'idée de base apportée par la demanderesse a été d'utiliser, pour résoudre le problème, les études déjà faites dans le domaine de l'analyse et de la synthèse de la parole.

Un objet de la présente invention est donc un dispositif de génération de bruits sonar permettant une grande souplesse d'utilisation et une action aisée sur les différentes caractéristiques des bruits fournis.

Un autre objet de l'invention est un tel dispositif de type numérique assurant un passage progressif par interpolation entre deux caractéristiques de bruit successives.

Selon l'invention, il est donc prévu un dispositif de génération de bruits sous-marins, en particulier pour la simulation de bruits sonar, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de filtrage

pour la synthèse par prédiction linéaire desdits bruits, un générateur de bruit blanc, dont le signal est appliqué à l'entrée desdits moyens de filtrage, et des moyens d'analyse prédictive pour le calcul des coefficients utilisés par lesdits moyens de filtrage.

Selon une autre caractéristique de l'invention, ledit dispositif comprend en outre des moyens d'interpolation disposés entre une mémoire desdits coefficients et lesdits moyens de filtrage, pour fournir des coefficients permettant un passage progressif d'un signal de bruit obtenu à l'aide d'un premier jeu de coefficients à un signal obtenu à l'aide d'un second jeu de coefficients.

L'invention couvre également le procédé mis en oeuvre par le dispositif ci-dessus.

L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques apparaîtront à l'aide de la description ci-après et des dessins joints où :

- la figure 1 représente le schéma d'un dispositif de génération de bruits selon l'invention; et
- la figure 2 est le schéma de principe d'un circuit d'interpolation pour le dispositif de la figure 1.

Le dispositif représenté sur la figure 1 comprend un générateur de bruit blanc 1 dont le signal de sortie, après passage dans un amplificateur 9 à gain variable commandé, vient exciter un filtre de prédiction linéaire 2 de fonction de transfert H(z), qui fournit les échantillons de signal de bruit S_n. Le filtre 2 reçoit ses coefficients d'une mémoire 6 dans laquelle sont stockés les différents jeux de coefficients correspondant au bruit que l'on veut reconstituer. On peut naturellement prévoir plusieurs filtres pour la reconstitution de plusieurs bruits qui seront ensuite superposés, ces filtres recevant leurs coefficients qui sont stockés dans la même mémoire 6 servant de bibliothèque. Les différents jeux de coefficients inscrits dans la mémoire 6 sont obtenus de deux manières différentes suivant que l'on possède les caractéristiques essentielles du bruit à simuler soit par un enregistrement de ce bruit, soit par la connaissance de sa densité spectrale de puissance. Dans le premier cas, un autocorrélateur 3 détermine les valeurs de la fonction d'autocorrélation R qui sont envoyées à un calculateur de coefficients 4. Dans le second cas, on calcule également la fonction d'autocorrélation par l'intermédiaire d'un calculateur de transformée de Fourier inverse 5 calculant la

transformée de Fourier inverse de la densité spectrale de puissance (DSP) du bruit à simuler. La distinction entre les deux modes d'obtention de la fonction d'autocorrélation a été schématisée par un commutateur 7.

Le fonctionnement de l'ensemble sera mieux compris en partant de la théorie connue de l'analyse de la parole par prédiction linéaire.

Le principe de base est que le conduit vocal peut être assimilé à un filtre récursif et que l'on peut donc calculer à chaque instant le signal de parole émis à partir des valeurs précédentes de ce même signal. Si le signal est supposé échantillonné et si S_n représente l'échantillon à l'instant nT_0 où T_0 est la période d'échantillonnage, on peut écrire :

$$S_n = a_1 S_{n-1} + a_2 S_{n-2} \cdots + a_p S_{n-p} + \varepsilon_n$$

soit encore :

$$S_n = \sum_{i=1}^{p} a_i S_{n-i} + \varepsilon_n \qquad (1)$$

où ε_n représente le signal d'excitation du filtre (soit un signal périodique, soit du bruit blanc suivant le type de la partie de parole analysée) et la somme $\sum a_i S_{n-1}$ est la partie prédite du signal.

La détermination des coefficients a_i s'effectue en cherchant à rendre minimum l'erreur quadratique moyenne résultant de la substitution au signal S_n de la somme $\sum_{i=1}^{p} a_i S_{n-i}$. L'erreur quadratique est :

$$E_n^2 = \left(S_n - \sum_{i=1}^{p} a_i S_{n-i} \right)^2$$

d'où l'erreur quadratique moyenne :

$$\langle E_n^2 \rangle = \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^{N} \left(S_n - \sum_{i=1}^{p} a_i S_{n-i} \right)^2$$

Pour rendre cette erreur minimum, il faut annuler les dérivées partielles de cette erreur par rapport aux coefficients a_i :

$$\frac{\partial \langle E_n^2 \rangle}{\partial a_i} = 0$$

soit le jeu d'équation pour les différentes valeurs de k :

$$\sum_{i=1}^{p} a_i \sum_{n=0}^{N} S_{n-i} S_{n-k} = \sum_{n=0}^{N} S_n S_{n-k} \qquad (2)$$

avec k variant entre 1 et p.

Or, on démontre facilement que, pour un signal s(t) dont la valeur échantillonnée est S_n pour n compris entre 0 et N et 0 dans les autres cas, la fonction d'autocorrélation est paire et peut s'écrire :

$$R(k) = \sum_{n=0}^{N} S_n S_{n-k}$$

d'où le système d'équations (2) devient :

$$\sum_{i=1}^{p} a_i R(i-k) = R(k) \qquad \text{avec } 1 \leqq k \leqq p$$

ce qui peut s'écrire sous forme matricielle, en remarquant que la matrice d'autocorrélation R(i-k) est symétrique :

$$\begin{bmatrix} R_0 & R_1 & R_2 & \cdots & R_{p-1} \\ R_1 & R_0 & R_1 & \cdots & R_{p-2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ R_{p-1} & R_{p-2} & \cdots & \cdots & R_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_p \end{bmatrix}$$

où :

$$\left[R_{i,k}\right] A = R$$

$$A = \left[R_{i,k}\right]^{-1} R \qquad (3)$$

Pour résoudre le système (3) fournissant les coefficients a_i, plusieurs méthodes peuvent être appliquées. Les plus connues sont basées sur l'algorithme d'Atal et Hanauer, sur l'algorithme de Markel et Levinson et sur l'algorithme d'Itakura et Saïto.

En reprenant l'équation (1) précédente qui peut s'écrire :

$$S_n - \sum_{i=1}^{p} a_i S_{n-i} = \varepsilon_n$$

et en écrivant la transformée en z, on obtient :

$$- S(z) \left[\sum_{0}^{p} a_i z^{-i}\right] = E(z) \qquad \text{en posant } a_0 = -1$$

$$S(z) = \frac{-1}{\sum_{0}^{p} a_i z^{-i}} E(z) = H(z).E(z)$$

On voit donc qu'on peut obtenir le signal s(t) par application de l'excitation $\varepsilon(t)$ à un filtre de fonction de transfert H(z). En synthèse de la parole, l'excitation $\varepsilon(t)$ est soit une fonction périodique constituée d'impulsions de "pitch", soit un bruit blanc, suivant qu'il s'agit de parties de discours voisées ou non voisées.

L'idée de base de la demanderesse a été que l'on pouvait obtenir les signaux de bruits sous-marins souhaités de la même manière. Ses travaux lui ont permis de vérifier que, pour tous les bruits sonar désirés, le signal d'excitation $\varepsilon(t)$ devait être du bruit blanc. D'où le schéma de la figure 1 dans le cas où on possède au départ un enregistrement du signal à simuler. L'autocorrélateur 3 fournit la matrice d'autocorrélation au calculateur 4 qui en déduit les coefficients a_i par l'un des algorithmes mentionnés plus haut. L'amplificateur à gain variable 9 permet d'appliquer une modulation au bruit émis. En effet, on constate que les bruits sonar sont l'objet d'un phénomène similaire à l'évanouissement ("fading") pour un signal radio. De plus, les conditions de transmission sous l'eau varient constamment d'où une modulation d'amplitude superposée qui, comme l'évanouissement, peut être simulée par une commande appropriée de l'amplificateur 9.

Dans le cas où on ne connaît que la densité spectrale de puissance (DSP) du bruit à simuler, on passe, selon l'invention, à la fonction d'autocorrélation par le calcul de la transformée de Fourier inverse :

$$T.F.^{-1}(DSP) = R$$

Une fois que l'on a la fonction R à la sortie du calculateur 5, on est ramené au cas précédent pour le calcul des coefficients a_i. Les différentes opérations effectuées par le dispositif de la figure 1 peuvent être commandées par un séquenceur 8 ou bien l'ensemble des calculs peut être géré par un microprocesseur.

Cependant, un des problèmes qui se posent est la présence de transitoires venant perturber et déformer le bruit simulé, lors du passage d'un jeu de coefficient $a_i(mT)$ au temps mT au jeu de coefficients suivant $a_i[(m+1)T]$ au temps $(m+1)T$. Pour réduire au maximum ces inconvénients, il faut effectuer un raccordement progressif entre les deux valeurs successives de la fonction de transfert H(z). Or, il n'est pas possible de faire une simple interpolation sur les coefficients a_i car cela conduirait à des signaux n'ayant plus aucun rapport avec le bruit à simuler.

La figure 2 représente le schéma de principe du circuit d'interpolation selon l'invention permettant d'obtenir une transition douce dans le bruit simulé à la sortie du dispositif de la figure 1.

Pour cela, on passe par le calcul du carré de la fonction de transfert H utilisée dans la synthèse à prédiction linéaire. Deux circuits de calcul 11 et 12 permettent de calculer les carrés de la fonction de transfert H^2_{mT} et $H^2_{(m+1)T}$ à partir des coefficients $a_i(mT)$ et $a_i[(m+1)T]$. On a représenté sur la figure un circuit à retard 10 de retard T correspondant au pas de renouvellement des coefficients a_i. Mais il est évident que lorsque ceux-ci sont conservés dans une mémoire 6, il suffit de lire les deux jeux de coefficients simultanément. A partir des valeurs H^2_{mT} et $H^2_{(m+1)T}$, un circuit 13 d'interpolation linéaire calcule la ou les valeurs $H^2_{(m+\varepsilon)T}$. A partir de cette valeur $H^2_{(m+\varepsilon)T}$, un calculateur de transformée de Fourier inverse 14, semblable au calculateur 5 de la figure 1, permet d'obtenir la fonction d'autocorrélation correspondante. A partir de là, les coefficients $a_i[(m+\varepsilon)T]$ après interpolation sont obtenus par un calculateur 15 du même type que le calculateur 4 de la figure 1. Ces calculateurs utilisent de préférence l'algorithme de Markel et Levinson qui s'est averé le mieux adapté à la mise en oeuvre pratique.

Bien que l'invention ait été décrite dans le cadre d'une application particulière, il est bien entendu qu'elle n'est nullement limitée à cette application ni au mode de réalisation décrit.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de génération de bruits sous-marins, en particulier pour la simulation de bruits sonar, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de filtrage (2) pour la synthèse par prédiction linéaire desdits bruits (S_n), un générateur de bruit blanc (1), dont le signal est appliqué à l'entrée desdits moyens de filtrage, et des moyens d'analyse prédictive (3, 4, 5, 6) pour le calcul des coefficients utilisés par lesdits moyens de filtrage.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens d'analyse comprennent des moyens de calcul (3, 5) de la matrice d'autocorrélation des signaux de bruit à simuler, un calculateur (4) desdits coefficients à partir de la matrice d'autocorrélation et une mémoire (6) pour le stockage des coefficients correspondant aux divers signaux à simuler.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits moyens de cacul de la matrice d'autocorrélation comprennent soit un autocorrélateur (3) calculant la fonction d'autocorrélation d'un signal de bruit dont on connaît les variations en fonction du temps, soit un calculateur de transformée de Fourier inverse (5) pour calculer la fonction d'autocorrélation d'un signal de bruit dont on connaît la densité spectrale de puissance.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il est prévu en outre un amplificateur à gain variable (9), inséré entre le générateur de bruit blanc (1) et les moyens de filtrage (2) et dont le gain peut être commandé en fonction des caractéristiques de périodicité et d'évanouissement du signal à simuler.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens d'interpolation (10 à 15) disposés entre ladite mémoire (6) et lesdits moyens de filtrage, pour fournir des coefficients permettant un passage progressif d'un signal de bruit obtenu à l'aide d'un premier jeu de coefficients à un signal obtenu à l'aide d'un second jeu de coefficients.

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens d'interpolation comprennent des moyens (10, 11, 12) de calcul du carré de la fonction de transfert associée aux moyens de filtrage pour chacun des deux jeux de coefficients successifs, un circuit d'interpolation linéaire (13) pour en déduire la valeur du carré

de la fonction de transfert à utiliser $\left(H^2_{[m+\varepsilon]T}\right)$, un calculateur de transformée de Fourier inverse (14) pour en déduire la fonction d'autocorrélation et un calculateur (15) des coefficients après interpolation fournissant ces coefficients aux moyens de filtrage (2).

7. Procédé de génération de bruits sous-marins, en particulier pour la simulation de bruits sonar, caractérisé en ce qu'il consiste à faire la synthèse par prédiction linéaire desdits bruits, par filtrage récursif (2) d'un signal de bruit blanc, les coefficients du filtre étant obtenus par une méthode d'analyse prédictive du signal de bruit à simuler ou de sa densité spectrale de puissance.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que ladite méthode d'analyse consiste à calculer la fonction d'autocorrélation (R) du bruit à simuler et à calculer, à partir d'une matrice d'autocorrélation ainsi obtenue, les coefficients de prédiction (a_i).

9. Procédé selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisé en ce qu'il consiste en outre à effectuer une interpolation entre les jeux de coefficients (a_i) successifs par l'intermédiaire d'une interpolation linéaire sur le carré de la fonction de transfert dudit filtrage, du calcul de la fonction d'autocorrélation par transformation de Fourier inverse du carré de la fonction de transfert interpolée et de la détermination des coefficients (a_i) interpolés à partir de cette fonction d'autocorrélation.

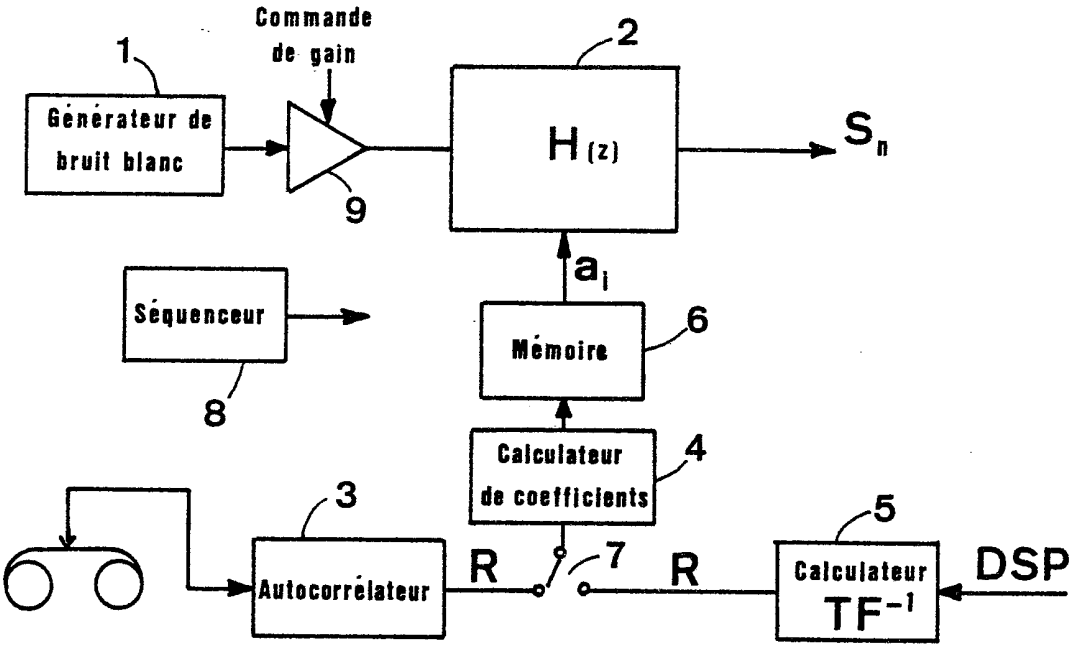
Commande
de gain
1
Générateur de
bruit blanc
9
2
H (z)
S n
a i
Séquenceur
8
Mémoire
6
Calculateur
de coefficients
4
3
Autocorrélateur
R
7
R
5
Calculateur
TF -1
DSP

FIG 1

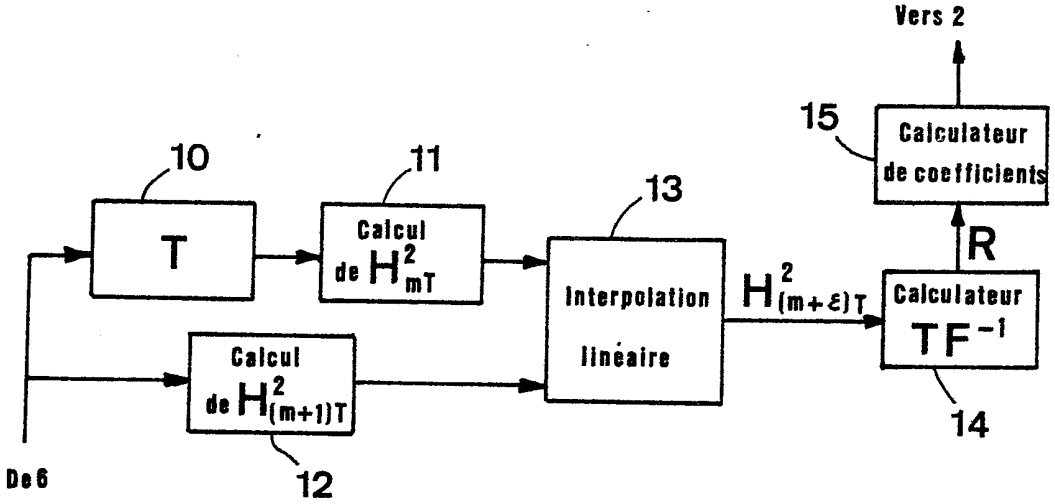
Vers 2
15
Calculateur
de coefficients
10
T
11
Calcul
de H 2 mT
13
Interpolation
linéaire
H 2 (m+ε)T
R
Calculateur
TF -1
14
Calcul
de H 2 (m+1)T
12
De 6

FIG 2