



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

<p>(51) Classification internationale des brevets <sup>5</sup> : <b>G01S 3/80, 3/14</b></p>	<p><b>A1</b></p>	<p>(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 93/18416</b> (43) Date de publication internationale: 16 septembre 1993 (16.09.93)</p>
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR93/00240 (22) Date de dépôt international: 10 mars 1993 (10.03.93) (30) Données relatives à la priorité: 92/03005 13 mars 1992 (13.03.92) FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): THOMSON-CSF [FR/FR]; 51, esplanade du Général-de-Gaulle, F-92800 Puteaux (FR). (72) Inventeur; et (75) Inventeur/Déposant (US seulement) : FORSTER, Philippe [FR/FR]; Thomson-CSF SCPI, B.P. 329, F-92402 Courbevoie Cédex (FR). (74) Mandataire: DESPERRIER, Jean-Louis; Thomson-CSF SCPI, B.P. 329, F-92402 Courbevoie Cédex (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: AU, CA, JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Publiée</b> <i>Avec rapport de recherche internationale.</i></p>

(54) Title: PROCESS AND DEVICE FOR LOCATING SOUND-PRODUCING DEVICES USING AN ANTENNA CONSISTING OF PASSIVE RADIO-SONIC BUOYS

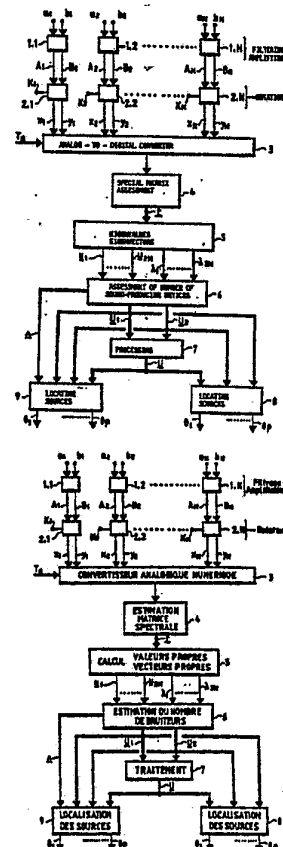
(54) Titre: PROCEDE ET DISPOSITIF DE LOCALISATION DE BRUTEURS PAR UNE ANTENNE CONSTITUEE DE BOUEES ACOUSTIQUES PASSIVES

(57) Abstract

Device for locating sound-producing devices using an antenna comprising passive sensors. In a preferred embodiment, the antenna consists of N radio-sonic buoys, each comprising a pair of hydrophone doublets having a double eight directivity diagram. Each buoy comprises a compass providing a signal  $K_n$  corresponding to the heading in relation to magnetic North. The signal pairs  $(a_1-b_1$  to  $a_n-b_n)$  rotate by angle  $K_n$ . The signals are then digitized and the number P of sound-producing devices is assessed. Locating said sound-producing devices can be effected according to two variants (8, 9).

(57) Abrégé

L'invention concerne un dispositif de localisation de bruiteurs par une antenne comprenant des capteurs passifs. Dans une variante préférée, l'antenne est constituée de N bouées acoustiques comprenant chacun une paire de doublets d'hydrophones présentant un diagramme de directivité en double huit. Chaque bouée comprend un compas fournissant un signal  $K_n$  représentant le cap par rapport au Nord magnétique. Les paires de signaux  $(a_1-b_1$  à  $a_N-b_N)$  subissent une rotation de l'angle  $K_n$ . Les signaux sont ensuite numérisés et le nombre P de bruiteurs estimé. La localisation de ces bruiteurs peut s'effectuer selon deux variantes (8, 9).



**UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Autriche	FR	France	MR	Mauritanie
AU	Australie	GA	Gabon	MW	Malawi
BB	Barbade	GB	Royaume-Uni	NL	Pays-Bas
BE	Belgique	GN	Guinée	NO	Norvège
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	NZ	Nouvelle-Zélande
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	PL	Pologne
BJ	Bénin	IE	Irlande	PT	Portugal
BR	Brésil	IT	Italie	RO	Roumanie
CA	Canada	JP	Japon	RU	Fédération de Russie
CF	République Centrafricaine	KP	République populaire démocratique de Corée	SD	Soudan
CG	Congo	KR	République de Corée	SE	Suède
CH	Suisse	KZ	Kazakhstan	SK	République slovaque
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SN	Sénégal
CM	Cameroun	LK	Sri Lanka	SU	Union soviétique
CS	Tchécoslovaquie	LU	Luxembourg	TD	Tchad
CZ	République tchèque	MC	Monaco	TG	Togo
DE	Allemagne	MG	Madagascar	UA	Ukraine
DK	Danemark	ML	Mali	US	Etats-Unis d'Amérique
ES	Espagne	MN	Mongolie	VN	Viet Nam
FI	Finlande				

**Procédé et dispositif de localisation de bruiteurs  
par une antenne constituée de bouées  
acoustiques passives**

5           La présente invention se rapporte à un procédé et à un dispositif permettant de localiser un ou plusieurs bruiteurs à partir des signaux recueillis par une antenne de géométrie inconnue constituée de bouées acoustiques passives.

10           Les bouées acoustiques passives sont utilisées, par exemple, par les aéronefs pour la détection, la localisation et la classification des véhicules sous-marins. Les méthodes de traitement du signal actuellement mises en oeuvre sur les signaux recueillis à bord de l'aéronef sont essentiellement non cohérentes : c'est-à-dire que chaque bouée fournit, après  
15 détection, des mesures de fréquence ou des mesures de fréquence et d'azimut ; la localisation des cibles s'effectue ensuite à partir de ces mesures.

          Compte-tenu de la diminution des niveaux de bruits rayonnés par les véhicules sous-marins, les performances individuelles des bouées passives en détection deviennent faibles et deviendront encore plus  
20 faibles vis-à-vis des véhicules sous-marins très silencieux du futur. C'est pourquoi le développement et l'étude de méthodes de traitement d'antenne applicables à un réseau de bouées (dont les positions sont mal connues) est important.

25           Diverses méthodes de traitement d'une antenne d'hydrophones dont les positions sont mal connues voire inconnues ont été proposées depuis une quinzaine d'années.

          Une première série de méthodes utilise des sources auxiliaires dont les positions sont connues. A titre d'exemple, de telles méthodes sont décrites dans les articles suivants :

30           - "A self-survey technique for self-cohering of antenna systems" par C.N. Dorny, IEEE-AES, Nov. 1978, pp. 977-991.

          - "Cohering of an experimental non rigid array by self-survey" par C.N. Dorny et al ; IEEE-AES, Nov. 1980, pp. 902-904.

Une deuxième série de méthodes utilise des sources auxiliaires dont les positions sont inconnues. A titre d'exemple, de telles méthodes sont décrites dans les articles suivants :

5 - "Array shape calibration using sources in unknown locations - Part I", par Y. Rockah et P.M. Schultheiss, IEEE-ASSP, mars 1987, pp. 286-299

- "Array shape calibration using sources in unknown locations - Part II", par Y. Rockah et P.M. Schultheiss, IEEE-ASSP, juin 1987, pp. 724-735.

10 Les sources auxiliaires peuvent être, par exemple, des bouées actives, c'est-à-dire émettrices. Ces sources servent à déterminer la géométrie de l'antenne et les signaux qu'elles émettent doivent être séparés en temps ou en fréquence. Une fois réalisée la calibration de l'antenne, la localisation des bruiteurs peut être réalisée par n'importe quelle méthode  
15 de traitement d'antenne. La calibration de l'antenne peut être réalisée par triangulation.

La nécessité de sources auxiliaires dans les traitements précités est contraignante en pratique et une méthode permettant de s'en affranchir a été développée. Cette méthode s'applique uniquement dans le cas  
20 de signaux à large bande et sa mise en oeuvre nécessite la présence d'au moins trois bruiteurs. Ces bruiteurs sont des sources de bruit existantes, telles que des navires. Cette méthode est décrite dans les articles suivants :

25 - "Localisation de sources ponctuelles avec une antenne de géométrie inconnue" par P. Nicolas et G. Vezzosi, GRETZI 85, pp. 331-337

- "Estimation of phase angles from the cross-spectral matrix" par G. Vezzosi, IEEE-ASSP, juin 1986, pp. 405-422

30 - "Time delay estimation using an eigenstructure based spectral method" par G. Vezzosi et P. Nicolas, 25th Conf. on Decision and Control", pp. 949-952.

Enfin, une méthode de traitement d'antenne baptisée ESPRIT a été développée dans le cas particulier d'un réseau de géométrie inconnue constitué de deux sous-réseaux dont l'un est le translaté de l'autre, le

vecteur de translation permettant de passer d'un sous-réseau à l'autre étant connu.

Cette méthode est décrite dans les documents suivants :

5 - "A subspace rotation approach to signal parameter estimation",  
par A. Paulraj, R. Roy et T. Kailath, "Proc. of the IEEE "Proc. of the  
IEEE", juillet 1986, pp. 1044-1045

- "ESPRIT-Estimation of signal parameters via rotational invariance  
techniques" par R. Roy et T. Kailath, IEEE-ASSP, juillet 1989, pp. 984-  
995

10 - et le brevet US-A-4 750 147.

Cependant la mise en oeuvre de cette méthode nécessite le re-  
cours à des servomécanismes pour effectuer des opérations d'orientation  
des différents éléments composant l'antenne.

15 L'invention vise à pallier les inconvénients de l'Art connu qui vien-  
nent d'être rappelés.

Elle permet de localiser plusieurs sources en bande étroite à l'aide  
d'une antenne de géométrie inconnue constituée de bouées utilisant des  
hydrophones directifs sans hypothèse restrictive sur le nombre minimal  
de bruiteurs et sur la géométrie de l'antenne. Elle ne nécessite pas non  
20 plus l'adjonction de sources auxiliaires, ni d'avoir recours à des  
servomécanismes pour l'orientation des éléments de l'antenne. Dans une  
variante préférée, les bouées sont du type connu sous l'appellation  
anglo-saxonne "DIFAR" ( "Directional Frequency Analysis and  
Recording").

25 Les caractéristiques principales de ce type de bouées seront rappé-  
lées ultérieurement.

Le procédé de l'invention permet une très grande précision. Dans  
des conditions idéales : gains des hydrophones réglés aux gains nomi-  
naux, nombre d'observations infini, bruit spatialement blanc ; ce procédé  
30 permet de déterminer les azimuts des bruiteurs avec une précision infinie.

L'invention a donc pour objet un procédé de localisation de brui-  
teurs par une antenne constituée de N capteurs acoustiques directifs, as-  
sociés à N transducteurs de signaux sonores reçus de chaque bruiteur ;  
chacun desdits capteurs acoustiques étant muni de moyens générant une

grandeur représentant le cap par rapport au Nord magnétique terrestre ; caractérisé en ce que, lesdits capteurs directifs étant constitués d'une paire de doublets présentant un diagramme de directivité en double huit dont les maxima sont alignés sur des premier et second axes orthogonaux entre eux, ce procédé comprend au moins les étapes suivantes :

- 5 - génération par chaque capteur d'une paire de signaux analogiques, réponses des doublets suivant lesdits premier et second axes orthogonaux
- rotation d'un angle  $K_n$  de chacune des paires de signaux, avec
- 10  $K_n$  cap de la bouée  $n$  et  $1 \leq n \leq N$ , de façon à générer une nouvelle paire de signaux  $x_n(t)$  et  $y_n(t)$ , telle que  $A_n(t)$  étant le signal associé au premier axe et  $B_n(t)$  le signal associé au second axe, la relation suivante soit vérifiée :

$$\begin{bmatrix} x_n(t) \\ y_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(K_n) & -\sin(K_n) \\ \sin(K_n) & \cos(K_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_n(t) \\ B_n(t) \end{bmatrix}$$

- 15 - échantillonnage à l'aide d'un signal de fréquence déterminée de ces signaux et leur conversion en signaux numériques
- génération de la matrice spectrale des signaux ainsi convertis
- décomposition de la matrice spectrale en éléments propres ( $\underline{u}_1$  à  $\underline{u}_{2N}$ ,  $\lambda_1$  à  $\lambda_{2N}$ )
- 20 - estimation du nombre  $P$  de bruiteurs en déterminant la multiplicité de la plus petite valeur propre de la matrice spectrale
- génération d'au moins deux matrices,  $\underline{U}_1$  et  $\underline{U}_2$ , à  $N$  lignes et  $P$  colonnes,  $N$  et  $P$  étant respectivement le nombre de bouées et le nombre de bruiteurs estimés, telles que la relation suivante soit satisfaite :

25 
$$\begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{u}_1 & \vdots & \underline{u}_2 & \vdots & \dots & \vdots & \underline{u}_p \end{bmatrix}$$

dans laquelle  $\underline{u}_1$  à  $\underline{u}_p$  sont les vecteurs propres de la matrice spectrale ( $\Gamma$ )

- génération d'une troisième matrice  $\underline{U}$ , également à  $N$  lignes et  $P$  colonnes, telle que les colonnes forment une base orthonormée commune aux espaces vectoriels engendrés par les colonnes des matrices  $\underline{U}_1$
- 30 et  $\underline{U}_2$

- et la localisation desdits P bruiteurs en utilisant au moins les matrices  $\underline{U}$ ,  $\underline{U}_1$  et  $\underline{U}_3$  ; ladite localisation consistant à générer une suite de valeurs ( $\theta_1$  à  $\theta_p$ ) représentant les azimuts estimés des bruiteurs, modulo  $180^\circ$ .

5 L'invention a encore pour objet un dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé.

L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques et avantages apparaîtront à l'aide de la description qui suit en référence aux figures annexées et parmi lesquelles :

10 - la figure 1 est un diagramme illustrant le fonctionnement d'une bouée de type "DIFAR" ;

- la figure 2 illustre schématiquement un dispositif selon l'invention ;

15 - les figures 3 et 4 sont des diagrammes illustrant deux variantes de réalisation de l'invention.

On va maintenant décrire le procédé de l'invention à l'aide d'un exemple de réalisation d'un dispositif mettant en oeuvre ce procédé.

20 Dans une variante préférée du procédé de l'invention, on utilise une antenne constituée d'éléments passifs à base de bouées connues sous la dénomination "DIFAR" ou "Direction Frequency Analysis and Recording".

Le type d'antenne est connu et il est inutile de le décrire de façon détaillée. On pourra se reporter avec profit aux brevets US-A-4 205 396, US-A-3 603 921 ou US-A-3 444 508, à titre d'exemples non limitatifs.

25 Il est cependant utile de rappeler brièvement les principales caractéristiques d'une telle antenne.

Une antenne de ce type fait appel à des hydrophones directifs. Chaque bouée constituant l'antenne comprend au moins deux doublets d'hydrophones. Les doublets utilisés présentent un diagramme de direction en forme de huit dit en "cosinus". Les deux doublets sont orientés de telle façon que les diagrammes de directivités soient orthogonaux.

30 La figure 1 illustre des diagrammes de directivité d'une bouée de type DIFAR. Naturellement les orientations "NORD-SUD" et "EST-OUEST" sont purement arbitraires et doivent être entendues par rapport

aux maxima définis par le diagramme de directivité. On a repéré sur la figure X-X' les deux lobes du diagramme de directivité du premier doublet et Y-Y' les lobes du diagramme de directivité du second doublet. On a représenté une source de bruit sous la référence S. On suppose que  
 5 cette source S est située à une distance importante de la bouée. On parle de champ lointain. On suppose que les ondes sonores sont reçues sous l'incidence  $\theta$  par rapport à l'axe "OUEST-EST" de la bouée.

Le signal fourni en sortie du premier doublet d'hydrophones obéit à la relation (diagramme X-X') :

$$10 \quad S_x = A \cos \theta \quad (1)$$

De même, le signal fourni en sortie du second doublet d'hydrophones obéit à la relation (diagramme Y-Y') :

$$S_y = A \sin \theta \quad (2)$$

Dans ces relations, A est une valeur indicative du niveau d'intensité sonore à l'endroit de la bouée réceptrice. Cette valeur A est identique dans les deux équations, car les hydrophones sont supposés avoir  
 15 la même sensibilité.

Dans une variante préférée de l'invention, on utilise N bouées du type qui vient d'être décrit ; l'ensemble de ces N bouées forment une antenne de géométrie inconnue. Ces bouées ont pu être larguées, par  
 20 exemple, d'un aéronef.

Les bouées sont caractérisées par le fait qu'elles fournissent, en présence de P bruiteurs en champ lointain, des signaux de la forme :

$$25 \quad \begin{bmatrix} a(t) \\ b(t) \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^P s_i(t) \begin{bmatrix} \cos \varphi_i \\ \sin \varphi_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n(t) \\ m(t) \end{bmatrix} \quad (3)$$

relation dans laquelle a(t) et b(t) sont les signaux présents sur les sorties respectives des doublets dits "Nord-Sud" et "Est-Ouest" d'une bouée donnée, n(t) et m(t) le bruit de fond en sorties de ces mêmes doublets et  $\varphi_1$  à  $\varphi_P$  les gisements des P bruiteurs par rapport au nord de la bouée, le  
 30 paramètre t représente naturellement le temps. La bouée comporte par ailleurs un compas qui fournit son cap par rapport au nord magnétique.

Cette équation (3) n'est en réalité que la généralisation à P sources, et en tenant compte du bruit de fond, des équations (1) et (2).

La figure 2 illustre schématiquement un dispositif selon l'invention. Comme il a été rappelé, l'antenne est composée de N bouées que l'on numérote 1 à N ; une bouée quelconque de cet ensemble est numérotée n, par convention. Pour simplifier, dans ce qui suit, on utilisera les références "N-S" pour "Nord-Sud" et "E-O" pour "Est-Ouest".

Pour chaque bouée n, les signaux  $a_n(t)$  et  $b_n(t)$  issus des doublets "N-S" et "E-O" sont traités de manière classique par un circuit 1.n d'amplification et de filtrage. Sur la figure 2, ces dispositifs sont représentés par les blocs 1.1 à 1.N.

Pour être utilisables ces signaux doivent être "alignés" par rapport à un même axe de référence. On choisit le Nord magnétique.

Pour ce faire, chaque bouée est munie d'un compas, comme il a été indiqué.

Les sorties  $A_n(t)$  et  $B_n(t)$  d'un circuit quelconque son alimentent un circuit 2.n qui lui correspond. Celui-ci leur fait subir une rotation d'angle  $K_n$ , où  $K_n$  désigne le cap de la n-ième bouée par rapport au Nord magnétique, de façon à fournir les signaux  $x_n(t)$  et  $y_n(t)$  définis par la relation :

$$\begin{bmatrix} x_n(t) \\ y_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(K_n) & -\sin(K_n) \\ \sin(K_n) & \cos(K_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_n(t) \\ B_n(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Comme il a été indiqué, le cap  $K_n$  est fourni par un compas associé à chaque bouée.

On constate que le dispositif de l'invention permet l'"alignement" nécessaire des bouées de façon très simple par une "rotation électrique".

Les signaux issus des circuits 2.1 à 2.N sont ensuite échantillonnés à une cadence d'échantillonnage  $T_e$  liée à la fréquence de coupure haute des circuits de filtrage 1-1, ..., 1-N et numérisés par un convertisseur analogique-numérique 3.

Les échantillons vectoriels sont donnés par la relation :

$$\underline{X}(n) = [x_1(nT_e), \dots, x_N(nT_e), y_1(nT_e), \dots, y_N(nT_e)]^T \quad (5)$$

dans laquelle les valeurs  $x_1(nT_e)$  à  $x_N(nT_e)$  sont les signaux dits "N-S" et les valeurs  $y_1(nT_e)$ , les signaux dites "E-O". On dispose donc de 2N signaux : deux par bouée.

Ces signaux, présents en sortie du convertisseur analogique-numérique 3, sont traités par un circuit 4 qui estime leur matrice spectrale à la fréquence d'analyse par une méthode d'estimation spectrale consistant par exemple en une pondération temporelle des données suivi d'un

5 moyennage temporel de périodogrammes (ou d'un lissage fréquentiel) ; le nombre de périodogrammes moyennés (ou lissés) devant être supérieur ou égal au nombre de bouées. La résolution fréquentielle minimale de l'analyse spectrale doit satisfaire l'inégalité :

$$\Delta f \ll c/d, \quad (6)$$

- 10 relation dans laquelle  $c$  désigne la célérité du son et  $d$  la distance maximale entre deux bouées, un facteur dix étant en général suffisant entre les deux membres de cette inégalité. Il doit être bien entendu que la connaissance de  $d$  n'implique pas la connaissance de la géométrie de l'antenne. Un ordre de grandeur ou une estimation de cette distance, par
- 15 exemple après largage des bouées, est suffisante. Le temps total d'une analyse spectrale ne doit pas excéder le temps de stationnarité présumé des signaux.

La matrice spectrale  $\underline{\Gamma}$  estimée par le circuit 4 est décomposée en éléments propres par un circuit 5 qui en calcule les valeurs propres

- 20  $\{\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_{2N}\}$  et les vecteurs propres  $\{\underline{u}_1, \dots, \underline{u}_{2N}\}$  associés, en utilisant une méthode de diagonalisation matricielle.

A ce stade, on peut estimer le nombre  $P$  de bruiteurs. Ceci peut être réalisé en testant la multiplicité de la plus petite valeur propre de la matrice spectrale. On a recours, par exemple, au test de sphéricité :

- 25 comparaison par rapport à un seuil du rapport des moyennes géométriques et arithmétiques des plus petites valeurs propres. Le circuit 6 forme ensuite deux matrices,  $\underline{U}_1$  et  $\underline{U}_2$ , chacune ayant  $N$  lignes et  $P$  colonnes. Ces matrices sont telles que la relation suivante soit satisfaite :

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{u}_1 & \underline{u}_2 & \dots & \underline{u}_p \end{bmatrix} \begin{matrix} \} N \text{ lignes} \\ \} N \text{ lignes} \end{matrix} \quad (7)$$

- 30 Le circuit 6 génère aussi la matrice diagonale  $\underline{\Delta}$  définie par la relation :

$$\underline{\Delta} = \text{diag} \{\lambda_1 - \sigma, \dots, \lambda_p - \sigma\} \quad (8)$$

dans laquelle  $\sigma = (\lambda_{p+1} + \dots + \lambda_N)/(N-P)$

Cette opération a pour but d'extraire le "bruit de fond" des signaux sources.

Les traitements réalisés par les circuits 4 à 6, peuvent être conformes à ceux décrits dans l'article de Laurent KOPP et Georges BIENVENU : "Détection par les valeurs propres de la matrice interspectrale : Adaptation au bruit de fond" paru dans "Neuvième colloque sur le Traitement du Signal et ses Applications", 16-20 mai 1983, pages 265-270. Un des enseignements de cet article est que, si l'on considère les amplitudes des valeurs propres, les plus faibles correspondent au bruit de fond et les plus importantes aux sources. Ce processus est schématisé par la figure 3. Dans l'exemple illustré sur cette figure, six valeurs propres correspondent à des sources repérées arbitrairement  $S_1$  à  $S_6$ , les autres étant considérées correspondre à du bruit de fond.

Un circuit 7 calcule ensuite une matrice  $\underline{U}_{N \times P}$  dont les colonnes forment une base orthonormée commune aux espaces vectoriels engendrés par les colonnes des matrices  $\underline{U}_1$  et  $\underline{U}_2$ . Naturellement, il s'agit d'une approximation car il faut tenir compte des erreurs dues aux mesures.

Une solution est de choisir pour  $\underline{U}$  la matrice formée par les  $P$  vecteurs singuliers gauches associés aux  $P$  plus grandes valeurs singulières de la matrice  $N \times 2P [\underline{U}_1 : \underline{U}_2]$ .

Cette méthode est conforme à celle enseignée dans le brevet US-A-4 750 147 précité. Il doit cependant être bien entendu que l'invention ne nécessite pas le recours à deux sous-réseaux reliés par un vecteur de translation connu.

A la suite de ces opérations, les sources sonores ou bruiteurs peuvent être localisées.

Selon l'invention, la localisation proprement dite peut s'effectuer selon deux variantes de réalisation.

Ces deux variantes sont schématisées sur la figure 2, respectivement, par les circuits 8 et 9. Ces deux circuits utilisent, d'une part, les matrices  $\underline{U}_1$  et  $\underline{U}_2$  et, d'autre part, la matrice  $\underline{U}$  qui vient d'être calculée. En outre, le circuit 9, et seulement ce circuit, reçoit la matrice  $\underline{\Delta}$ .

La première variante tire partie du fait que, si  $\theta_p$  représente l'azimut d'une source  $p$  (avec  $1 \leq p \leq P$ ), la matrice  $\underline{U}_1$  correspond aux signaux en  $\cos \theta_p$  et la matrice  $\underline{U}_2$  aux signaux en  $\sin \theta_p$ . Pour obtenir les signaux avec une phase  $\theta_p$ , il faut effectuer une multiplication matricielle telle que l'on obtienne une forme en  $\exp(i\theta_p)$  soit :

$$\begin{bmatrix} 1 & i \\ 1 & -i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_p \\ \sin \theta_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{i\theta_p} \\ e^{-i\theta_p} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Ce type d'opération est effectué par le circuit 8.

De façon plus précise, le circuit 8 calcule les  $P$  valeurs propres, notées  $\alpha_1$  à  $\alpha_p$ , de la matrice définie par :

$$\left[ (\underline{U}_1 + i \underline{U}_2)^* \underline{U} \right]^{-1} \times \left[ (\underline{U}_1 - i \underline{U}_2)^* \underline{U} \right] \quad (9)$$

relation dans laquelle l'astérisque indique qu'il s'agit de la matrice conjuguée.

Une fois cette opération réalisée, le circuit 8 peut fournir en sortie les  $P$  azimuts estimés des bruiteurs, soit  $\theta_1$  à  $\theta_p$ ; ce naturellement avec une ambiguïté de  $180^\circ$  comme il est bien connu.

Des méthodes pour lever cette ambiguïté sont également bien connues de l'homme de métier et il est inutile de les décrire.

Pour une source sonore ou bruiteur quelconque  $p$ , l'azimut estimé est donné par la relation :

$$\theta_p = \frac{1}{2} \text{Arg} (\alpha_p) \quad (10)$$

Selon la seconde variante de réalisation, on fait "tourner" l'angle  $\theta$  entre deux valeurs prédéterminées normalement entre  $-90^\circ$  et  $+90^\circ$ . On "observe" la disparition d'une source, c'est-à-dire quand elle passe devant le zéro de directivité du dipôle.

Cependant, ce processus nécessite que le bruit soit extrait des signaux utiles. Pour ce faire, on utilise la matrice  $\underline{\Delta}$ . Le circuit 9 effectue ces opérations.

De façon plus précise, le circuit 9 calcule à partir des matrices  $\underline{U}$ ,  $\underline{U}_1$ ,  $\underline{U}_2$  et  $\underline{\Delta}$ , pour  $\theta$  variant de  $-90^\circ$  à  $90^\circ$  avec un pas suffisamment petit ( $1^\circ$  par exemple), la fonction  $f(\theta)$  définie comme l'inverse de la plus petite valeur propre de la matrice répondant à la relation :

$$\underline{U}^* (\sin \theta \underline{U}_1 - \cos \theta \underline{U}_2) \underline{\Delta} (\sin \theta \underline{U}_1 - \cos \theta \underline{U}_2)^* \underline{U} \quad (11)$$

Dans ces conditions, les azimuts estimés des bruiteurs sont fournis par les abscisses des maxima de la fonction  $f(\theta)$ .

La figure 4 illustre ce processus. Sur cette figure, on a représenté  
 5 la variation de la courbe  $f(\theta)$  en fonction de  $\theta$  variant de  $+90^\circ$  à  $-90^\circ$ . La courbe  $f(\theta)$ , dans l'exemple considéré, présente huit pics, correspondant à huit bruiteurs repérés de façon arbitraire  $S_1$  à  $S_8$ . Les huit valeurs de  $\theta$ ,  $\theta_1$  à  $\theta_8$ , correspondent aux azimuts des huit bruiteurs. Les signaux  $\theta_1$  à  $\theta_n$  sont disponibles en sortie du circuit 9.

10 A titre d'exemple, on pourra utiliser une dizaine de bouées de type "DIFAR" pour constituer l'antenne, de préférence un nombre puissance de deux, soit huit ou seize. Ce dernier choix rend plus aisé les calculs numériques.

Il doit être bien entendu que la présence simultanée des circuits 8  
 15 et 9 n'est nullement requise. Il s'agit de deux variantes de réalisation de l'invention.

Le dispositif de l'invention peut comprendre l'un ou l'autre de ces circuits ou, comme représenté sur la figure 2, les deux circuits. Si l'on ne fait appel qu'au circuit 8 conforme à ce qui a été appelé "première variante" de réalisation de l'invention, il n'est pas utile de générer la ma-  
 20 trice  $\underline{\Delta}$  qui n'est utilisée que par le circuit 9 ("seconde variante").

L'invention n'est pas limitée à l'utilisation d'antennes de type "DIFAR". On peut également mettre en oeuvre des antennes filaires comportant des paires d'hydrophones directifs. A titre d'exemple non  
 25 limitatif, une telle antenne est décrite dans la demande de brevet français publiée le 15 mars 1991 sous le N° 2 651 950. Cette demande de brevet est relative en outre à des dispositions permettant la levée d'ambigüité "Droite-Gauche" associée à l'antenne, ce qui a été appelé  
 "ambigüité de  $180^\circ$ " dans la présente description. Dans cette variante,  
 30 non représentée, l'antenne ne comprend plus N bouées distinctes. Celles-ci sont remplacées par les N paires de doublets composant l'antenne linéaire. Il faut naturellement, conformément à l'invention, disposer de moyens fournissant la valeur du cap, ce pour chaque doublet.

## REVENDECATIONS

1. Procédé de localisation de bruiteurs par une antenne constituée de N capteurs acoustiques directifs, associés à N transducteurs de signaux sonores reçus de chaque bruiteur ; chacun desdits capteurs acoustiques étant muni de moyens générant une grandeur représentant le cap ( $K_n$ ) par rapport au Nord magnétique terrestre ; caractérisé en ce que, lesdits capteurs directifs étant constitués d'une paire de doublets présentant un diagramme de directivité en double huit (X-X', Y-Y') dont les maxima sont alignés sur des premier et second axes (EST-OUEST", "NORD-OUEST") orthogonaux entre eux, ce procédé comprend au moins les étapes suivantes :

- génération par chaque capteur d'une paire de signaux analogiques ( $a_n, b_n$ ), réponses des doublets suivant lesdits premier et second axes orthogonaux

- rotation d'un angle  $K_n$  de chacune des paires de signaux, avec  $K_n$  cap de la bouée n et  $1 \leq n \leq N$ , de façon à générer une nouvelle paire de signaux  $x_n(t)$  et  $y_n(t)$ , telle que  $A_n(t)$  étant le signal associé au premier axe et  $B_n(t)$  le signal associé au second axe, la relation suivante soit vérifiée :

$$\begin{bmatrix} x_n(t) \\ y_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(K_n) & -\sin(K_n) \\ \sin(K_n) & \cos(K_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_n(t) \\ B_n(t) \end{bmatrix}$$

- échantillonnage à l'aide d'un signal de fréquence déterminée ( $T_e$ ) de ces signaux et leur conversion en signaux numériques ( $\underline{X}(n)$ )

- génération de la matrice spectrale ( $\underline{\Gamma}$ ) des signaux ainsi convertis

- décomposition de la matrice spectrale ( $\underline{\Gamma}$ ) en éléments propres ( $\underline{u}_1$  à  $\underline{u}_{2N}$ ,  $\lambda_1$  à  $\lambda_{2N}$ )

- estimation du nombre P de bruiteurs en déterminant la multiplicité de la plus petite valeur propre de la matrice spectrale

- génération d'au moins deux matrices,  $\underline{U}_1$  et  $\underline{U}_2$ , à N lignes et P colonnes, N et P étant respectivement le nombre de bouées et le nombre de bruiteurs estimés, telles que la relation suivant soit satisfaite :

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 & : & u_2 & : & \dots & : & u_p \end{bmatrix}$$

dans laquelle  $\underline{u}_1$  à  $\underline{u}_p$  sont les vecteurs propres de la matrice spectrale ( $\underline{\Gamma}$ )

- génération d'une troisième matrice  $\underline{U}$ , également à N lignes et P colonnes, telle que les colonnes forment une base orthonormée commune aux espaces vectoriels engendrés par les colonnes des matrices  $\underline{U}_1$  et  $\underline{U}_2$

- et la localisation desdits P bruiteurs en utilisant au moins les matrices  $\underline{U}$ ,  $\underline{U}_1$  et  $\underline{U}_2$ ; ladite localisation consistant à générer une suite de valeurs ( $\theta_1$  à  $\theta_p$ ) représentant les azimuts estimés des bruiteurs, modulo 180°.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape de localisation desdits P bruiteurs comprend les phases suivantes :

- une première phase de génération des P valeurs propres de la matrice définie par la relation :

$$\left[ (\underline{U}_1 + i \underline{U}_2)^* \underline{U} \right]^{-1} \times \left[ (\underline{U}_1 - i \underline{U}_2)^* \underline{U} \right]$$

relation dans laquelle  $(\underline{U}_1 + i \underline{U}_2)^*$  est la matrice conjuguée de  $(\underline{U}_1 + i \underline{U}_2)$

- et une seconde phase de génération desdits azimuts, l'azimut  $\theta_p$  d'un bruiteur p, avec  $1 < p < P$ , étant tel que :

$$\theta_p = \frac{1}{2} \text{Arg} (\alpha_p)$$

$\alpha_p$  étant la valeur propre de rang p de la matrice générée à la première phase.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend une étape supplémentaire de génération d'une matrice diagonale  $\underline{\Delta}$  répondant à la relation suivante :

$\underline{\Delta} = \text{diag} \{ \lambda_1 - \sigma, \dots, \lambda_p - \sigma \}$  dans laquelle  $\lambda_1$  à  $\lambda_p$  sont les vecteurs propres de rangs 1 à P de ladite matrice spectrale ( $\underline{\Gamma}$ ) et  $\sigma$  donné par la relation  $\sigma = (\lambda_{p+1} + \dots + \lambda_N) / (N - P)$  et en ce que la localisation desdits P bruiteurs comprend les phases suivantes :

- génération de la fonction  $f(\theta)$  telle que  $f(\theta)$  soit l'inverse de la plus petite valeur propre de la matrice :

$$\left[ \underline{U}^* (\sin \theta \underline{U}_1 - \cos \theta \underline{U}_2) \underline{\Delta} (\sin \theta \underline{U}_1 - \cos \theta \underline{U}_2)^* \underline{U} \right]$$

- et détermination des maxima de cette fonction dans une gamme déterminée de l'angle  $\theta$ , les valeurs  $\theta_p$  de ces maxima représentant les azimut desdits P bruiteurs ( $\theta_1$  à  $\theta_p$ ), modulo  $180^\circ$ .

4. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite  
5 gamme déterminée comprend les angles  $\theta$  variant de  $-90^\circ$  à  $+90^\circ$ .

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite  
troisième matrice  $\underline{U}$  est formée par les P vecteurs singuliers gauches associés aux P plus grandes valeurs de la matrice  $[\underline{U}_1 : \underline{U}_2]$ , matrice comportant N lignes et 2P colonnes et  $\underline{U}_1$ ,  $\underline{U}_2$  étant lesdites première et  
10 deuxième matrices.

6. Dispositif de mise en oeuvre du procédé de localisation de bruiteurs selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend des premiers moyens (1.1 à 1.N), en nombre égal audit nombre N pour amplifier et filtrer les paires de signaux analogiques ( $a_n$ ,  
15  $b_n$ ), des deuxièmes moyens (2.1 à 2.N) pour faire tourner chacune des paires de signaux ainsi amplifiés et filtrés d'un angle représentant le cap magnétique ( $K_n$ ) associé au capteur directif générant ladite paire de signaux analogiques, des troisièmes moyens (3) convertissant les paires de signaux en échantillons numériques vectoriels, des quatrièmes moyens  
20 (4) générant ladite matrice spectrale ( $\underline{\Gamma}$ ) de ces échantillons, des cinquièmes moyens (5) décomposant cette matrice spectrale ( $\underline{\Gamma}$ ) en éléments propres ( $\underline{u}_1$  à  $\underline{u}_{2N}$ ,  $\lambda_1$  à  $\lambda_{2N}$ ), des sixièmes moyens (6) estimant à partir de ces éléments propres le nombre P de bruiteurs et générant au moins une première et une deuxième matrice  $\underline{U}_1$  et  $\underline{U}_2$ , obéissant à la  
25 relation :

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} = [\underline{u}_1 : \underline{u}_2 : \dots : \underline{u}_P]$$

dans laquelle  $\underline{u}_1$  à  $\underline{u}_P$  sont les vecteurs propres de ladite matrice spectrale ( $\underline{\Gamma}$ ) ; des septièmes moyens (7) générant à partir desdites première et deuxième matrice une troisième matrice  $\underline{U}$  telle que ses colonnes forment une base orthonormée commune aux espaces vectoriels engendrés  
30 par les colonnes des matrices  $\underline{U}_1$  et  $\underline{U}_2$  ; et des huitièmes moyens (8 ou 9) effectuant la localisation des P bruiteurs à partir d'au moins lesdites première, deuxième et troisième matrice ( $\underline{U}_1$ ,  $\underline{U}_2$ ,  $\underline{U}$ ).

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que les huitièmes moyens (8) effectuant la localisation de P bruiteurs génèrent P valeurs propres  $\alpha_1$  à  $\alpha_p$  de la matrice

$$\left[ (\underline{U}_1 + i \underline{U}_2)^* \underline{U} \right]^{-1} \cdot \left[ (\underline{U}_1 - i \underline{U}_2)^* \underline{U} \right]$$

5 et estiment les azimuts  $\theta_1$  à  $\theta_p$  des P bruiteurs en effectuant les calculs successifs  $\theta_p = \frac{1}{2} \text{Arg}(\alpha_p)$ , avec  $1 \leq p \leq P$ .

8. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que les sixièmes moyens (6) génèrent en outre une matrice diagonale  $\underline{\Delta}$  telle que

$$\underline{\Delta} = \text{diag} \{ \lambda_1 - \sigma, \lambda_2 - \sigma, \dots, \lambda_p - \sigma \}$$

10 avec  $\lambda_1$  et  $\lambda_p$  valeurs propres de la matrice spectrale ( $\underline{\Gamma}$ ) de rang 1 à P ; et  $\sigma = (\lambda_{p+1} + \dots + \lambda_N)/(N-P)$ , avec  $\lambda_{p+1}$  à  $\lambda_N$  valeurs propres de la matrice spectrale ( $\Gamma$ ) de rang(P+1) à N ; et en ce qu'il détermine les maxima de la fonction  $f(\theta)$  inverse de la plus petite valeur propre de la matrice :

$$15 \quad \left[ \underline{U}^* (\sin \theta \underline{U}_1 - \cos \theta \underline{U}_2) \underline{\Delta} (\sin \theta \underline{U}_1 - \cos \theta \underline{U}_2)^* \underline{U} \right]$$

les valeurs de  $\theta_p$  associées aux maxima de ladite fonction  $f(\theta)$  correspondant aux azimuts des P bruiteurs.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que chaque capteur acoustique directif est constitué  
20 par une paire de doublets d'hydrophones, chaque capteur possédant deux axes de directivités orthogonaux ("Est-Ouest", "Nord-Sud"), de manière à définir un diagramme de directivité en double huit ; et en ce que ces capteurs sont disposés, chacun, dans une bouée munie de moyens générant un signal ( $K_n$ ) représentant le cap par rapport au Nord  
25 magnétique.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que chaque capteur acoustique directif est constitué  
par une paire de doublets d'hydrophones, chaque capteur possédant  
deux axes de directivités orthogonaux ("Est-Ouest", "Nord-Sud"), de  
30 manière à définir un diagramme de directivité en double huit ; et en ce que ces capteurs forment une antenne filaire de longueur déterminée comprenant des moyens générant des signaux représentant les caps par rapport au Nord magnétique associés à chacun de ces capteurs.

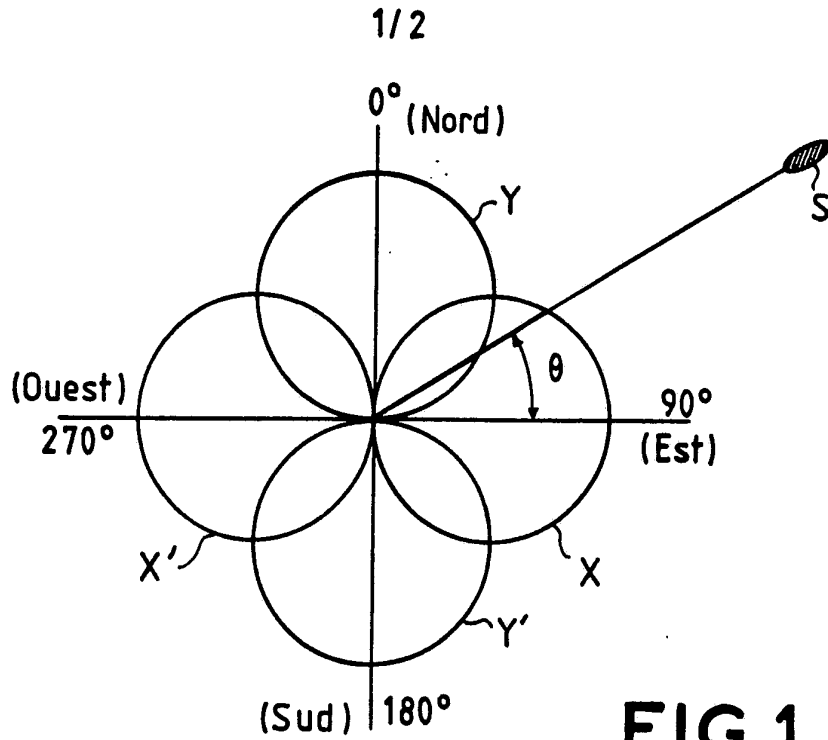


FIG. 1

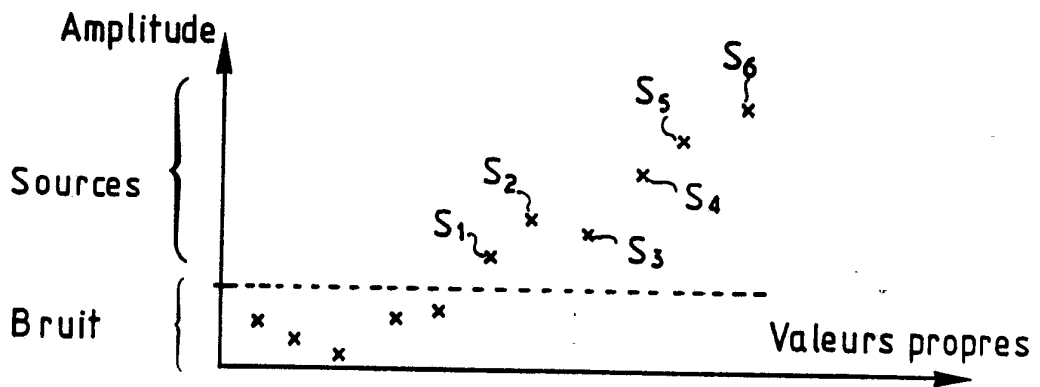


FIG. 3

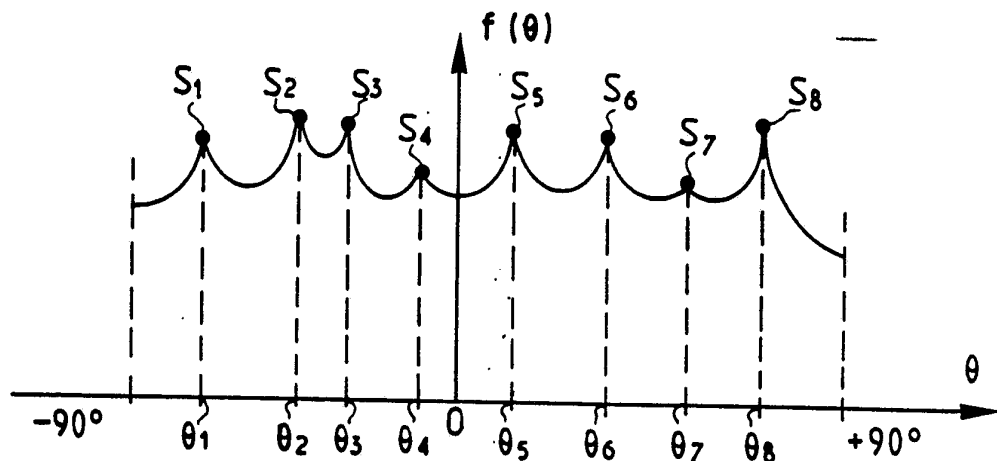


FIG. 4

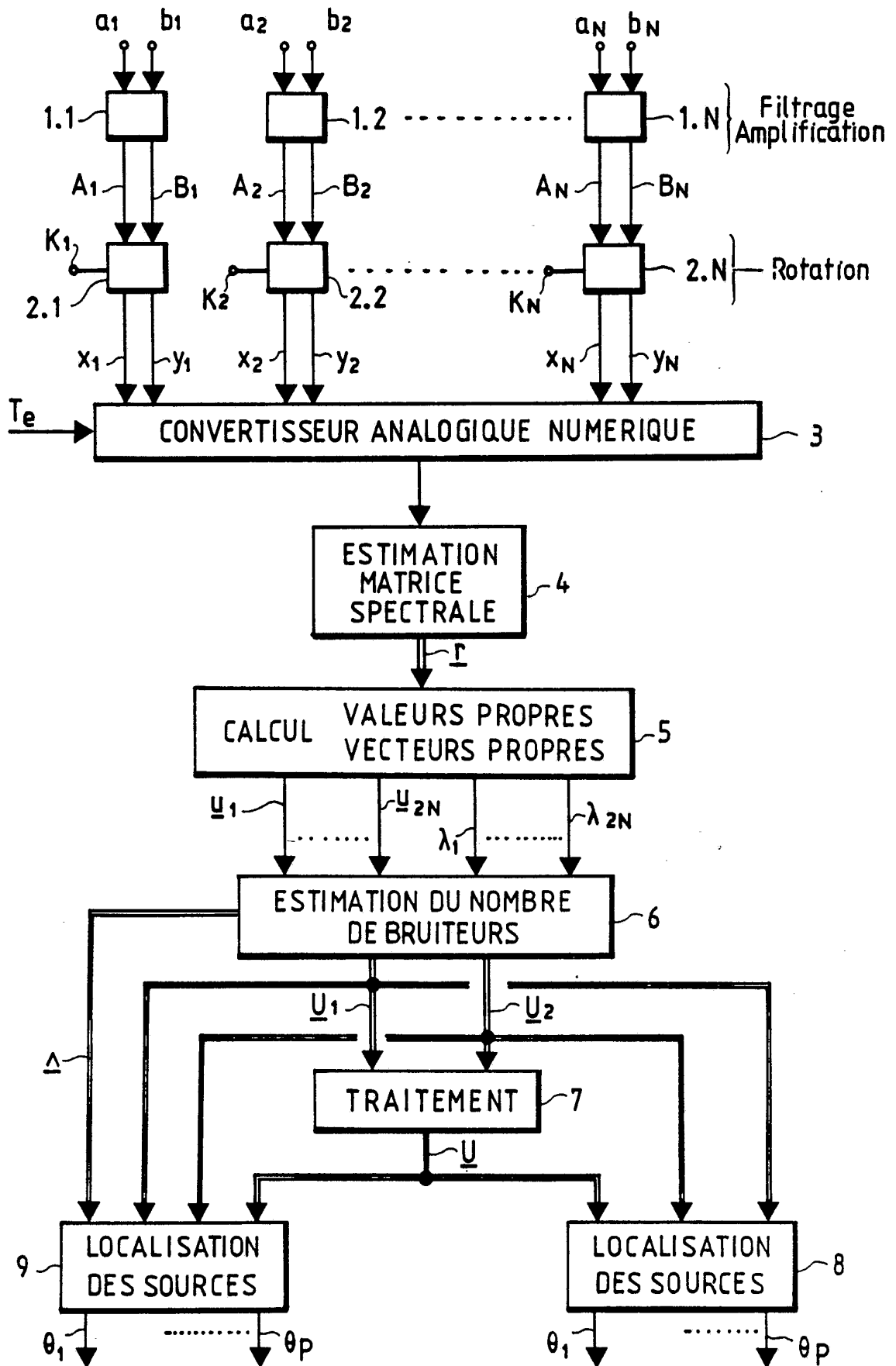


FIG.2

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/FR93/00240

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 Int. Cl.<sup>5</sup> : G01S 3/80; G01S 3/14  
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**  
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 Int. Cl.<sup>5</sup> : G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DIXIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS 20 May 1985, NICE, FRANCE pages 331-337 P. NICOLAS ET AL. 'Localisation de sources ponctuelles avec une antenne de geometrie inconnue' cited in the application ---	
A	NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS 16 May 1983, NICE, FRANCE pages 265-270 L. KOPP ET AL. 'Detection par les valeurs propres de la matrice interspectrale: adaptation au bruit de fond' cited in the application ---	
A	IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN Vol.32, No.3B, August 1989, pages 290-293, XP29850 'Acoustic broadband detection with difar buoys' -----	

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 2 June 1993 (02.06.93)	Date of mailing of the international search report 7 June 1993 (07.06.93)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office Facsimile No.	Authorized officer  Telephone No.
---	---

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

PCT/FR 93/00240

Demande Internationale No

<b>I. CLASSEMENT DE L'INVENTION</b> (si plusieurs symboles de classification sont applicables, les indiquer tous) <sup>7</sup>		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
CIB 5 G01S3/80;                      G01S3/14		
<b>II. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b>		
Documentation minimale consultée <sup>8</sup>		
Système de classification	Symboles de classification	
CIB 5	G01S	
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où de tels documents font partie des domaines sur lesquels la recherche a porté <sup>9</sup>		
<b>III. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b> <sup>10</sup>		
Catégorie °	Identification des documents cités, avec indication, si nécessaire, des passages pertinents <sup>12</sup>	No. des revendications visées <sup>14</sup>
A	DIXIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS 20 Mai 1985, NICE, FRANCE pages 331 - 337 P. NICOLAS ET AL. 'Localisation de sources ponctuelles avec une antenne de geometrie inconnue' cité dans la demande  ---	
A	NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS 16 Mai 1983, NICE, FRANCE pages 265 - 270 L. KOPP ET AL. 'Detection par les valeurs propres de la matrice interspectrale: adaptation au bruit de fond' cité dans la demande  ---	-/--
<p>° Catégories spéciales de documents cités:<sup>11</sup></p> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> <p>"T" document ultérieur publié postérieurement à la date de dépôt international ou à la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier.</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p>		
<b>IV. CERTIFICATION</b>		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
02 JUIN 1993	0 7. 06. 93	
Administration chargée de la recherche internationale	Signature du fonctionnaire autorisé	
OFFICE EUROPEEN DES BREVETS	Francesco Zaccà	

III. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS<sup>14</sup>(SUITE DES RENSEIGNEMENTS INDIQUES SUR LA  
DEUXIEME FEUILLE)

Catégorie °	Identification des documents cités, <sup>16</sup> avec indication, si nécessaire des passages pertinents <sup>17</sup>	No. des revendications visées <sup>18</sup>
A	IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN vol. 32, no. 3B, Août 1989, pages 290 - 293 , XP29850 'Acoustic broadband detection with difar buoys' -----	