



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

<p>(51) Classification internationale des brevets ⁶ : G01S 15/52</p>	<p>A1</p>	<p>(11) Numéro de publication internationale: WO 99/60418 (43) Date de publication internationale: 25 novembre 1999 (25.11.99)</p>
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR99/01091 (22) Date de dépôt international: 7 mai 1999 (07.05.99) (30) Données relatives à la priorité: 98/06179 15 mai 1998 (15.05.98) FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): THOMSON MARCONI SONAR S.A.S. [FR/FR]; 525, route des Doline, F-06900 Sophia Antipolis (FR). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): DOISY, Yves [FR/FR]; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, Dépt. Brevets, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR). METIVIER, Pierre [FR/FR]; Thomson-CSF Propriété Industrielle, Dépt. Brevets, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR). (74) Mandataire: THOMSON-CSF PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE; Dépt. Brevets, 13, avenue du Président Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).</p>	<p>(81) Etats désignés: AU, CA, JP, NO, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Publiée Avec rapport de recherche internationale.</p>	

(54) Title: METHOD FOR DETECTING MOBILE OBJECTS WITH ACTIVE SONAR

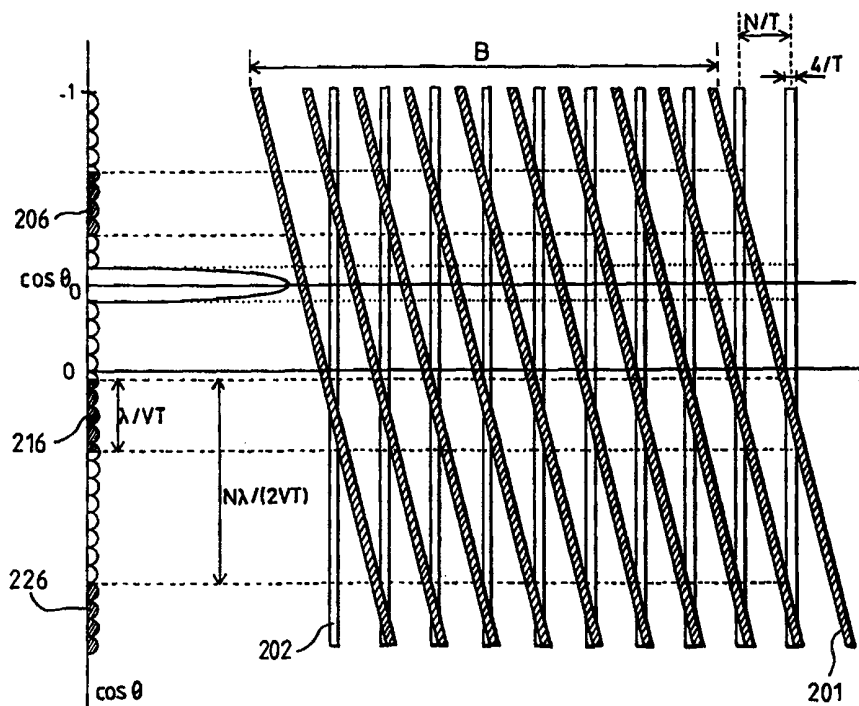
(54) Titre: PROCÉDE DE DETECTION D'OBJETS MOBILES PAR SONAR ACTIF

(57) Abstract

The invention concerns methods for detecting mobile objects using an active sonar operating by Doppler effect, which consists in using as transmission signal a burst of N coded pulses so as to present a spectrum with a comb structure of lines, thereby increasing the "signal/reverberation" ratio of the useful signal intensity over the reverberated intensity, hence the sonar efficacy. The invention enables to detect more easily mobile objects in reverberating transmission medium.

(57) Abrégé

L'invention concerne les procédés qui permettent de détecter les objets mobiles à l'aide d'un sonar actif fonctionnant par effet Doppler. Elle consiste à utiliser comme signal d'émission une rafale de N impulsions codées de manière à présenter un spectre ayant une structure en peigne de raies. On augmente ainsi le rapport "signal/réverbération" de l'intensité de signal utile à l'intensité réverbérée, et donc l'efficacité du sonar. Elle permet de détecter plus facilement les objets mobiles en milieu de transmission réverbérant.



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.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

PROCEDE DE DETECTION D'OBJETS MOBILES PAR SONAR ACTIF

La présente invention se rapporte aux procédés de détection des
5 objets sous-marins mobiles à l'aide d'un sonar actif, comprenant une
antenne directive, en utilisant l'effet Doppler attaché au mouvement relatif de
l'objet et du sonar et en formant des voies directives à partir des signaux des
transducteurs de l'antenne.

Pour détecter avec un sonar un objet mobile appelé cible, il est
10 connu d'utiliser l'effet Doppler induit par le mouvement de la cible. Dans de
tels procédés de l'art antérieur, on émet une impulsion de faible bande
passante vis-à-vis du décalage Doppler de la cible, puis à la réception on
corrèle simultanément les signaux reçus, avec plusieurs copies de
l'impulsion émise, décalées en fréquence. Chaque copie de corrélation
15 correspond à un décalage Doppler différent possible. La meilleure
corrélation est obtenue avec une copie présentant un décalage en fréquence
sensiblement égal à celui provoqué par le mouvement de la cible. Ainsi, la
corrélation par plusieurs copies et l'exploitation des signaux reçus permettent
de localiser une cible en distance et en azimut, et de calculer sa vitesse
20 radiale.

Ce procédé revient à émettre un code de bande passante plus
étroite que le décalage Doppler des cibles que l'on cherche à détecter. Pour
cela, l'émission est constituée d'une impulsion de fréquence pure f_0 de durée
T, pondérée en amplitude pour abaisser le niveau des lobes secondaires du
25 spectre émis afin d'obtenir une bonne rejection spectrale. La largeur
spectrale d'une telle impulsion est alors d'environ $4/T$ pour une pondération
en \cos^2 .

Il est connu que le milieu marin est réverbérant, surtout à cause
des nombreuses hétérogénéités locales (bulles d'air, particules, plancton...)
30 formant des diffuseurs. En outre, par petits fonds, la réverbération provenant
du fond et de la surface est importante. Il s'ensuit que lorsque le spectre du
signal réverbéré et le spectre de la copie se superposent dans le secteur
angulaire correspondant au lobe principal de l'antenne, les performances en
détection sont très mauvaises.

On a représenté sur la figure 1 la valeur de la fréquence f du signal reçu en fonction du cosinus de l'angle θ entre le vecteur vitesse du porteur de sonar et la direction d'un point de l'espace dans le plan gisement.

Le porteur étant animé d'une vitesse V uniforme et la fréquence
 5 émise étant f_0 , il est connu que la fréquence reçue est donnée par

$$\left(1 + \frac{2|V|}{c} \cos \theta\right) f_0$$
 où c est la célérité des ondes acoustiques dans l'eau.

L'étendue du spectre du signal réverbéré par l'ensemble du volume insonifié est donc représentée par une droite inclinée 101 de largeur $4/T$. Quant à la copie, elle ne dépend pas de θ et elle est représenté par une droite verticale
 10 102 de largeur $4/T$.

La zone notée A correspond au cas de réverbération indiqué précédemment. Dans cette zone, le signal réverbéré est reçu dans le lobe principal de réception 103. Il n'est éliminé ni par la directivité, ni par le filtrage Doppler.

15 Les zones notées B correspondent au cas où le spectre du signal réverbéré et celui de la copie se superposent en face des lobes secondaires 104 de la voie de réception. Il y a alors deux contributions à l'intensité réverbérée détectée. La première est celle des diffuseurs dans le lobe principal de la voie de réception, mais à des fréquences différentes de la cible. Ces diffuseurs sont rejetés par l'analyse spectrale. Cette dernière
 20 pouvant atteindre 40 à 50 dB en sonar, on peut négliger cette contribution. La seconde contribution correspond aux diffuseurs à la même fréquence que la cible, mais atténués par les lobes secondaires du diagramme de directivité. Dans le cas de la figure, il s'agit de l'intersection 105 des droites
 25 101 et 102 et du lobe secondaire 106.

Le rapport "réverbération/signal " est donné par la formule :

$$R.2\Delta\theta \frac{cT}{2} \cdot 10^{-\frac{NS}{10}} \quad (1)$$

où R est la distance de la cible et NS le niveau en dB des lobes secondaires du diagramme de directivité.

30 L'intervalle angulaire $\Delta\theta$ correspondant au recouvrement des spectres de la copie et du signal réverbéré est tel que $\Delta \cos \theta = \frac{\lambda}{VT}$ et le

rapport (1) ne dépend pas de la durée T de l'impulsion émise : le fait d'augmenter cette durée ne permettrait pas d'augmenter les performances.

Les zones notées C correspondent au cas où il n'y a aucun diffuseur à la fréquence du canal de réception. Dans ce cas les performances sont en général très bonnes, mais elle ne correspondent qu'à un nombre restreint de cibles potentielles.

Dans la demande de brevet N° 92 01499 déposée le 11 février 1992 par la Société THOMSON-CSF et publiée le 13 Août 1993 sous le N° 2 687 226, il est décrit un procédé de détection de cibles mobiles dans lequel on émet une suite d'impulsions à fréquences pures. Ses inconvénients tiennent à ce que les performances en zones B restent médiocres et que les fréquences émises dépendent de la vitesse de la cible.

Pour permettre d'obtenir de bonnes performances également dans les zones A et B, tout en conservant les performances des zones C, l'invention propose un procédé de détection d'objets mobiles par un sonar actif en mouvement animé d'une vitesse V, dans lequel on émet un signal de durée T qui est réverbéré par le milieu de transmission en présentant un étalement de spectre dû à la vitesse propre du sonar et on traite ce signal réverbéré par corrélation avec un ensemble de copies du signal d'émission décalées en fréquence pour correspondre à l'ensemble des décalages Doppler susceptibles d'affecter le signal réverbéré, principalement caractérisé en ce que le signal émis est codé en bande large pour présenter un spectre ayant une structure en peigne de raies à des fréquences successives f_i dont l'intervalle séparant deux raies successives f_i et f_{i+1} est fonction de la vitesse V pour être au moins égal à l'étalement de spectre en répondant à la formule :

$$\left(1 - \frac{2V}{c}\right) f_{i+1} - \frac{a}{T} \geq \left(1 + \frac{2V}{c}\right) f_i + \frac{a}{T}$$

où a est un entier compris entre 1 et 2.

Selon une autre caractéristique, le signal codé est formé de N impulsions qui occupent chacune une bande de fréquence B centrée sur une fréquence f_0 ; N étant supérieur ou égal à :

$$N \geq \frac{4VT}{c} \left(f_0 + \frac{B}{2}\right)$$

Selon une autre caractéristique, le signal d'émission comprend en outre deux impulsions à des fréquences pures f_m et f_M destinées à permettre une détection des objets en mouvement rapide dont les échos sont situés tant en éloignement qu'en rapprochement au delà de la bande de fréquence occupée par le signal réverbéré ; ces fréquences étant

5 données par les relations :

$$\left(1 + \frac{2V}{c} + \frac{2|v_c^{\max}|}{c}\right) f_m + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c}\right) f_1 - \frac{2}{T}$$

10 et

$$\left(1 + \frac{2V}{c}\right) f_1 + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c} - \frac{2|v_c^{\max}|}{c}\right) f_M - \frac{2}{T}$$

Selon une autre caractéristique, pour que les objets mobiles dont la vitesse est sensiblement égale à l'une des vitesses aveugles des signaux codés en bande large soient détectés par les signaux en

15 fréquences pures, on choisit les fréquences f_m et f_M pour satisfaire en outre les relations :

$$f_M = q \frac{N}{T} \text{ et } f_m = \left(p \pm \frac{\Delta}{2}\right) \frac{N}{T}$$

20 où Δ correspond au plus petit intervalle séparant la suite arithmétique de raison p/q de la suite des entiers.

Selon une autre caractéristique, on utilise un procédé dans lequel on choisit f_m et f_M pour satisfaire aux relations :

$$25 \left\{ \begin{array}{l} \left(1 + \frac{2V}{c}\right) f_1 + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c} - \frac{2|v_c^{\max}|}{c}\right) f_m - \frac{2}{T} \\ \left(1 + \frac{2V}{c}\right) f_1 + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c} - \frac{2|v_c^{\max}|}{c}\right) f_M - \frac{2}{T} \end{array} \right.$$

Selon une autre caractéristique, on utilise un procédé dans lequel on choisit f_m et f_M pour satisfaire aux relations :

$$5 \quad \begin{cases} \left(1 + \frac{2V}{c} + \frac{2|V_c^{\max}|}{c}\right) f_m + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c}\right) f_M - \frac{2}{T} \\ \left(1 + \frac{2V}{c} + \frac{2|V_c^{\max}|}{c}\right) f_M + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c}\right) f_1 - \frac{2}{T} \end{cases}$$

Selon une autre caractéristique, on utilise pour recevoir les signaux réverbérés une antenne acoustique linéaire remorquée.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront
10 clairement dans la description suivante, présentée à titre d'exemple non limitatif en regard des figures annexées qui représentent :

- la figure 1, un diagramme fréquence/direction pour un signal émis à fréquence pure;

- la figure 2, un diagramme semblable à celui de la figure 1 mais
15 correspondant à une rafale de N signaux ;

- la figure 3, un diagramme semblable correspondant à l'émission de deux fréquences pures; et

- la figure 4 un diagramme semblable à celui de la figure 2, des N signaux émis conformément à l'invention.

20 L'invention propose d'utiliser des signaux codés selon des codes dont le spectre présente une structure dite en peigne de raies.

Une telle structure peut être obtenue en émettant un signal large bande périodique, ou par synthèse directe dans le domaine spectral. Supposons par exemple que le code émis consiste en N "sous codes"
25 pondérés en \cos^2 ou "motifs élémentaires" large bande (FM, BPSK ou autre) identiques, chacun de durée T/N , l'ensemble de la séquence étant pondérée en amplitude sur la durée T. Son spectre, représenté selon un diagramme fréquence/direction comme dans la figure 1, aura alors l'allure représentée sur la figure 2. On observe un peigne de raies
30 (entre les premiers zéros), espacées de N/T , et présentant une forte

rejection spectrale entre les raies. L'ensemble des raies couvre une largeur de bande B.

En considérant une copie 202 décalée en fréquence pour la détection, on trouve en zone B plusieurs directions angulaires 206, 216, 226
5 contribuant à l'interspectre entre la copie et la réverbération. En prenant comme variable $u = \cos \theta$, ces différentes directions sont espacées de $N\lambda/2VT$. La variable u variant de -1 à +1, le nombre de ces directions est donné par la formule :

$$10 \quad M = \frac{4VT}{N\lambda} \quad (2)$$

Dans cette zone B, le rapport de l'intensité réverbérée sur l'énergie émise est approximativement égal à :

$$15 \quad R = \frac{4V_c^{\text{Max}T}}{\lambda} \Delta\theta_0 \frac{c}{2B} \cdot 10^{\frac{-Ns}{10}} \quad (3)$$

où :

V_c = vitesse radiale de la cible

$\Delta\theta_0$ = intervalle angulaire de recouvrement des spectres .

20 Cette formule est valable lorsque $V_c^{\text{Max}} \geq 2V$, ce qui est dans la pratique presque toujours le cas.

Si on la compare à la formule (1), qui a été établie pour le mode fréquence pure dit "FP", on obtient un gain de performances G égal à :

$$25 \quad G = \frac{cB}{2V_c^{\text{Max}f_0}} \quad (4)$$

Avec une bande passante égale au tiers de la fréquence de la porteuse, et une vitesse $V_c^{\text{Max}} = 30$ noeuds, on obtient un gain de 9,2 dB. Le gain est d'autant plus faible que la vitesse V_c^{Max} est élevée.

Dans le cas où $V_c^{\text{Max}} < 2V$, le gain G vaut $\frac{cB}{4Vf_0}$

30 Ainsi pour $V = 10$ noeuds et $B/f_0 = 1/3$, $G = 14$ dB.

L'invention propose donc d'utiliser un code large bande à peigne de raies adapté à la vitesse du porteur, indépendamment de la vitesse de la cible.

Ce code à large bande, de durée T et de largeur de bande B, est tel que l'espacement entre chaque raie de son spectre est égal à l'étalement fréquentiel de la réverbération associé à la raie provenant uniquement de la vitesse V du porteur, comme représenté sur la figure 3, où la largeur des impulsions 301 a été exagérée par rapport à l'intervalle 300 de variation de la copie.

Pour 2 raies adjacentes, cette condition s'écrit :

$$\left(1 - \frac{2V}{c}\right) f_{i+1} \geq \left(1 + \frac{2V}{c}\right) f_i + \frac{4}{T} \quad (5)$$

Le diagramme de la direction $\cos \theta$ en fonction de la fréquence dans ces conditions est représenté sur la figure 4. On remarque qu'une seule direction de réverbération 306 contribue à l'interspectre.

Le code bande large utilisé est composé de N impulsions ayant chacune une bande de largeur B centrée sur la fréquence f_0 . L'intervalle entre 2 raies adjacentes est tel que $f_{i+1} - f_i = N/T$. En se plaçant dans le cas le plus défavorable, on obtient à partir de la formule (5).

$$N \geq 4 \left[\frac{VT}{c} \left(f_0 + \frac{B}{2} \right) + 1 \right] \quad (6)$$

L'optimum est obtenu pour l'égalité.

Afin d'assurer le contrôle des lobes secondaires du spectre émis, ce nombre sera de préférence supérieur à une valeur minimale, égale par exemple à 12. Cette condition correspond alors à des vitesses du porteur vérifiant la condition :

$$V \geq \frac{2C}{Tf_0} \quad (7)$$

Pour des vitesses inférieures, on gardera par souci de simplification cette valeur $N = 12$.

Dans la formule (5), i varie de 1 à une valeur maximale donnée par :

5

$$i_{\max} = I = E \left(\frac{BT}{N} + 1 \right) \quad (7)$$

où E signifie "partie entière".

A ces 2 valeurs correspondent les 2 fréquences

10 $f_0 - \frac{B}{2}$ et $f_0 + \frac{B}{2}$

Le traitement en réception de ce code bande large peut se faire de manière classique par corrélation avec des copies qui correspondent à tous les "Doppler cibles" possibles.

En simplifiant la formule (6) à : $N \cong \frac{4VT}{c} \left(f_0 + \frac{B}{2} \right)$

15 le gain G obtenu en zone B par rapport au mode FP est donné par la formule :

$$G = \frac{BT}{N} \left(1 + \frac{B}{2f_0} \right) \quad (8)$$

pour $V_c^{\text{Max}} < 2V$

et par la formule

$$G = 2 \frac{BT}{N} \left(1 + \frac{B}{2f_0} \right) \frac{V}{V_c^{\text{Max}}} \quad (9)$$

20 pour $V_c^{\text{Max}} \geq 2V$.

L'invention propose dans une réalisation préférée, d'utiliser deux codes FP 401 et 411 classiques, chacun de même énergie que le code large bande, dont les fréquences sont situées symétriquement par rapport au spectre du code large bande.

25 Les fréquences f_m et f_M de ces deux codes sont déterminées de manière à assurer la détection de la cible, par l'un des deux codes, dès que celle-ci est dans la zone C.

Pour cela f_m et f_M doivent respecter les inégalités suivantes :

$$\left(1 + \frac{2V}{c} + \frac{2|V_c^{\max}|}{c}\right) f_m + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c}\right) f_l - \frac{2}{T} \quad (10)$$

et

$$\left(1 + \frac{2V}{c}\right) f_l + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c} - \frac{2|V_c^{\max}|}{c}\right) f_M - \frac{2}{T} \quad (11)$$

Le traitement en réception de ces 2 codes sera identique à celui du code bande large, c'est à dire corrélation avec des copies 402 et 412 qui correspondent aux "Doppler cibles" dans les zones C (en rapprochement pour le code f_M , en éloignement pour le code f_m).

Les cibles dont la vitesse radiale V_r vérifie la relation :

$$\frac{2|V_r|}{c} f_0 = k \frac{N}{T} \quad (12)$$

où k est entier, réfléchissent un signal dont le spectre coïncide avec celui de la réverbération dans la direction de la cible, et se trouvent donc en zone A, avec très peu de chances d'être détectées. Ceci correspond comme dans tout système Doppler, à des fréquences aveugles.

Or ces vitesses aveugles correspondent dans tous les cas, compte tenu de l'espacement des fréquences choisi pour le code large bande, à des cibles en zone C (les pires cas correspondent à une cible venant de l'arrière avec une vitesse radiale de $2V$, ou une cible venant de l'avant avec une vitesse radiale de $-2V$). On peut donc selon l'invention les traiter avec des codes FP.

Les performances en zone C sont alors celles du mode FP, à la condition que les spectres des différents codes soient suffisamment disjoints pour pouvoir négliger les interactions mutuelles.

En particulier pour les codes "en rafale", les différentes raies occupent les positions kN/T où k est un entier, et pour certains motifs élémentaire (code FM par exemple), la décroissance du niveau de ces raies

est assez lente, de sorte que la réverbération induite par l'émission du code large bande dans la copie FP peut se révéler gênante. C'est en particulier le cas lorsque le spectre de la copie FP intercepte une des raies du spectre de la réverbération associée au code large bande en face du lobe principal de la voie pointée sur la cible. Ceci correspond à une condition donnée par la formule :

$$\left(1 + \frac{2V}{c} \cos \theta_0\right) k \frac{N}{T} = \left(1 + \frac{2V}{c} \cos \theta_0 + \frac{2V_r}{c}\right) f_m \quad (13)$$

pour la FP basse, ou

10

$$\left(1 + \frac{2V}{c} \cos \theta_0\right) k' \frac{N}{T} = \left(1 + \frac{2V}{c} \cos \theta_0 + \frac{2V_r}{c}\right) f_M \quad (14)$$

pour la FP haute.

La valeur de $\frac{2V}{c} \cos \theta_0$ étant petite devant 1, au premier ordre

15 ces égalités deviennent :

$$\left(1 + \frac{2V_r}{c}\right) f_m = k \frac{N}{T} \quad (15)$$

$$\left(1 + \frac{2V_r}{c}\right) f_M = k' \frac{N}{T} \quad (16)$$

20

Les 2 conditions (13) et (14) peuvent se produire simultanément, ce qui n'assure pas alors la détection de la cible par l'un des 2 codes FP en zone C.

Pour y remédier, on peut fixer les valeurs des fréquences à
 25 $f_M = q \frac{N}{T}$ et $f_m = p \frac{N}{T} + \delta \frac{N}{T}$ où q et p sont des entiers.

La valeur de δ est alors telle que $\delta = \pm \frac{\Delta}{2}$, où Δ correspond au plus petit intervalle séparant la suite arithmétique de raison p/q de la suite des entiers.

Ainsi la détection des cibles ayant un décalage Doppler inférieur à N/T en valeur absolue se fera sur le code large bande, et la détection des autres cibles sur l'un des codes FP.

L'invention fonctionne cependant toujours, mais avec des performances dégradées, lorsque l'on n'utilise qu'une seule de ces 2
5 fréquences pures.

Dans un exemple de réalisation, on a fabriqué un sonar à antenne linéaire remorquée dont la bande passante disponible à l'émission $\Delta f = 600$ Hz est centrée sur $f_0 = 1500$ Hz et qui se déplace à la vitesse de
10 $V = 4$ m/s. L'énergie émise correspond à des codes de durée $T = 8$ s, compte tenu du niveau sonore et des portées recherchées.

La bande B étant inférieure à Δf , on obtient N d'après (6). Donc $N = 157,6$, d'où $N/T = 19,7$ Hz que l'on peut arrondir à 20 Hz. Ainsi le code large bande est formé de 160 impulsions de durée 50ms chacune.

Pour les codes FP, on a $f_M = 1800$ Hz soit $q = 90$. Donc
15 $f_m = 1203,33$ Hz, $p = 60$, $p/q = 2/3$ et $\Delta = 1/3$. On en déduit $f_m = 1203,33$ Hz.

Les inégalités (10) et (11) fournissent $f_1 = 63 \times 20 = 1260$ Hz et $f_1 = 87 \times 20 = 1740$ Hz. Chaque impulsion du code large bande a donc une bande égale à 480 Hz.

20 L'émission d'un tel sonar peut alors être formée :

- d'un premier code FP pondéré en amplitude, de durée $T = 8$ s (de 0 à T) et de fréquence $f_m = 1260$ Hz

- d'un code large bande pondéré en amplitude, de durée $T = 8$ s (de $T/2$ à $3T/2$) constitué de $N=160$ impulsions de durée 50 ms et de bande
25 passante $B = 480$ Hz centrée sur 1500 Hz.

- d'un deuxième code FP pondéré en amplitude, de durée $T = 8$ s (de T à $2T$) et de fréquence $f_M = 1800$ Hz

En réception, on effectue alors les traitements suivants :

- formation de voies;

30 - dans chaque voie formée, filtrage adapté dont la nature des copies dépend de l'intervalle fréquentiel considéré;

- pour les vitesses radiales des cibles V_r , telles que :

$$-\frac{N}{T} \leq \frac{2V_r}{c} f_I \leq \frac{N}{T} \quad (18)$$

les copies sont générées en effectuant un décalage Doppler du code émis large bande avec les paramètres Doppler correspondant à l'intervalle $2N/T$.

- pour les autres vitesses V_r , telles que :

5

$$\frac{2|V_r|}{c} f_i > \frac{N}{T} \quad (19)$$

les copies sont générées par décalage Doppler des fréquences f_m et f_M avec les paramètres Doppler correspondants.

10

Le filtrage adapté du signal reçu est effectué simultanément avec toutes les copies ainsi générées et on applique les processus de normalisation et de détection connus de l'art antérieur.

A titre de variante, on peut synthétiser directement le code large bande en utilisant la formule suivante:

15

$$e(t) = \sum_{i=0}^I a_i \cos(2\pi f_i t + \phi_i) \text{env}\left(\frac{t}{T}\right) \quad (20)$$

dans laquelle :

$$\left(1 - \frac{2V}{c}\right) f_{i+1} = \left(1 + \frac{2V}{c}\right) f_i + \frac{4}{T} \quad (21)$$

$$\text{avec } i = 1; i_{\text{Max}} = E\left(\frac{BT}{N} + 1\right)$$

Dans ces formules les termes (a_i, ϕ_i) sont optimisés de façon à ce que le code ait une énergie constante entre 0 et T. Le terme $\text{env}(x)$ est la pondération d'amplitude non nulle de 0 à T.

25

On peut aussi choisir de regrouper les fréquences FP du même côté du spectre du code large bande. Les conditions deviennent alors :

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(1 + \frac{2V}{c}\right) f_1 + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c} - \frac{2|V_c^{\max}|}{c}\right) f_m - \frac{2}{T} \\ \left(1 + \frac{2V}{c}\right) f_m + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c} - \frac{2|V_c^{\max}|}{c}\right) f_M - \frac{2}{T} \end{array} \right. \quad (22)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(1 + \frac{2V}{c}\right) f_m + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c} - \frac{2|V_c^{\max}|}{c}\right) f_M - \frac{2}{T} \\ \left(1 + \frac{2V}{c}\right) f_M + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c} - \frac{2|V_c^{\max}|}{c}\right) f_1 - \frac{2}{T} \end{array} \right. \quad (23)$$

ou

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(1 + \frac{2V}{c} + \frac{2|V_c^{\max}|}{c}\right) f_m + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c}\right) f_M - \frac{2}{T} \\ \left(1 + \frac{2V}{c} + \frac{2|V_c^{\max}|}{c}\right) f_M + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c}\right) f_1 - \frac{2}{T} \end{array} \right. \quad (24)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(1 + \frac{2V}{c} + \frac{2|V_c^{\max}|}{c}\right) f_m + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c}\right) f_1 - \frac{2}{T} \\ \left(1 + \frac{2V}{c} + \frac{2|V_c^{\max}|}{c}\right) f_M + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c}\right) f_m - \frac{2}{T} \end{array} \right. \quad (25)$$

REVENDEICATIONS

1 - Procédé de détection d'objets mobiles par un sonar actif en mouvement animé d'une vitesse V , dans lequel on émet un signal de durée T qui est réverbéré par le milieu de transmission en présentant un étalement de spectre dû à la vitesse propre du sonar et on traite ce signal réverbéré par corrélation avec un ensemble de copies du signal d'émission décalées en fréquence pour correspondre à l'ensemble des décalages Doppler susceptibles d'affecter le signal réverbéré, caractérisé en ce que le signal émis est codé en bande large pour présenter un spectre ayant une structure en peigne de raies à des fréquences successives f_i dont l'intervalle séparant deux raies successives f_i et f_{i+1} est fonction de la vitesse V pour être au moins égal à l'étalement de spectre en répondant à la formule :

15

$$\left(1 - \frac{2V}{c}\right)f_{i+1} - \frac{a}{T} \geq \left(1 + \frac{2V}{c}\right)f_i + \frac{a}{T}$$

où a est un entier compris entre 1 et 2, et en ce que le signal d'émission comprend en outre deux impulsions à des fréquences pures f_m et f_M destinées à permettre une détection des objets en mouvement rapide dont les échos sont situés tant en éloignement qu'en rapprochement au delà de la bande de fréquence occupée par le signal réverbéré; ces fréquences étant données par les relations :

25

$$\left(1 + \frac{2V}{c} + \frac{2|v_c^{\max}|}{c}\right)f_m + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c}\right)f_l - \frac{2}{T}$$

et

$$\left(1 + \frac{2V}{c}\right)f_l + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c} - \frac{2|v_c^{\max}|}{c}\right)f_M - \frac{2}{T}$$

30

2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le signal codé est formé de N impulsions qui occupent chacune une bande

de fréquence B centrée sur une fréquence f_0 ; N étant supérieur ou égal à :

$$N \geq \frac{4VT}{c} \left(f_0 + \frac{B}{2} \right)$$

- 5 3 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que pour que les objets mobiles dont la vitesse est sensiblement égale à l'une des vitesses aveugles des signaux codés en bande large soient détectés par les signaux en fréquences pures, on choisit les fréquences f_m et f_M pour satisfaire en outre les relations :

10

$$f_M = q \frac{N}{T} \text{ et } f_m = \left(p \pm \frac{\Delta}{2} \right) \frac{N}{T}$$

où Δ correspond au plus petit intervalle séparant la suite arithmétique de raison p/q de la suite des entiers.

- 15 4 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel on choisit f_m et f_M pour satisfaire aux relations :

$$\begin{cases} \left(1 + \frac{2V}{c} \right) f_1 + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c} - \frac{2|V_c^{\max}|}{c} \right) f_m - \frac{2}{T} \\ \left(1 + \frac{2V}{c} \right) f_m + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c} - \frac{2|V_c^{\max}|}{c} \right) f_M - \frac{2}{T} \end{cases}$$

- 20 5 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel on choisit f_m et f_M pour satisfaire aux relations :

$$\begin{cases} \left(1 + \frac{2V}{c} + \frac{2|V_c^{\max}|}{c} \right) f_m + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c} \right) f_M - \frac{2}{T} \\ \left(1 + \frac{2V}{c} + \frac{2|V_c^{\max}|}{c} \right) f_M + \frac{2}{T} \leq \left(1 - \frac{2V}{c} \right) f_1 - \frac{2}{T} \end{cases}$$

6 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'on utilise pour recevoir les signaux réverbérés une antenne acoustique linéaire remorquée.

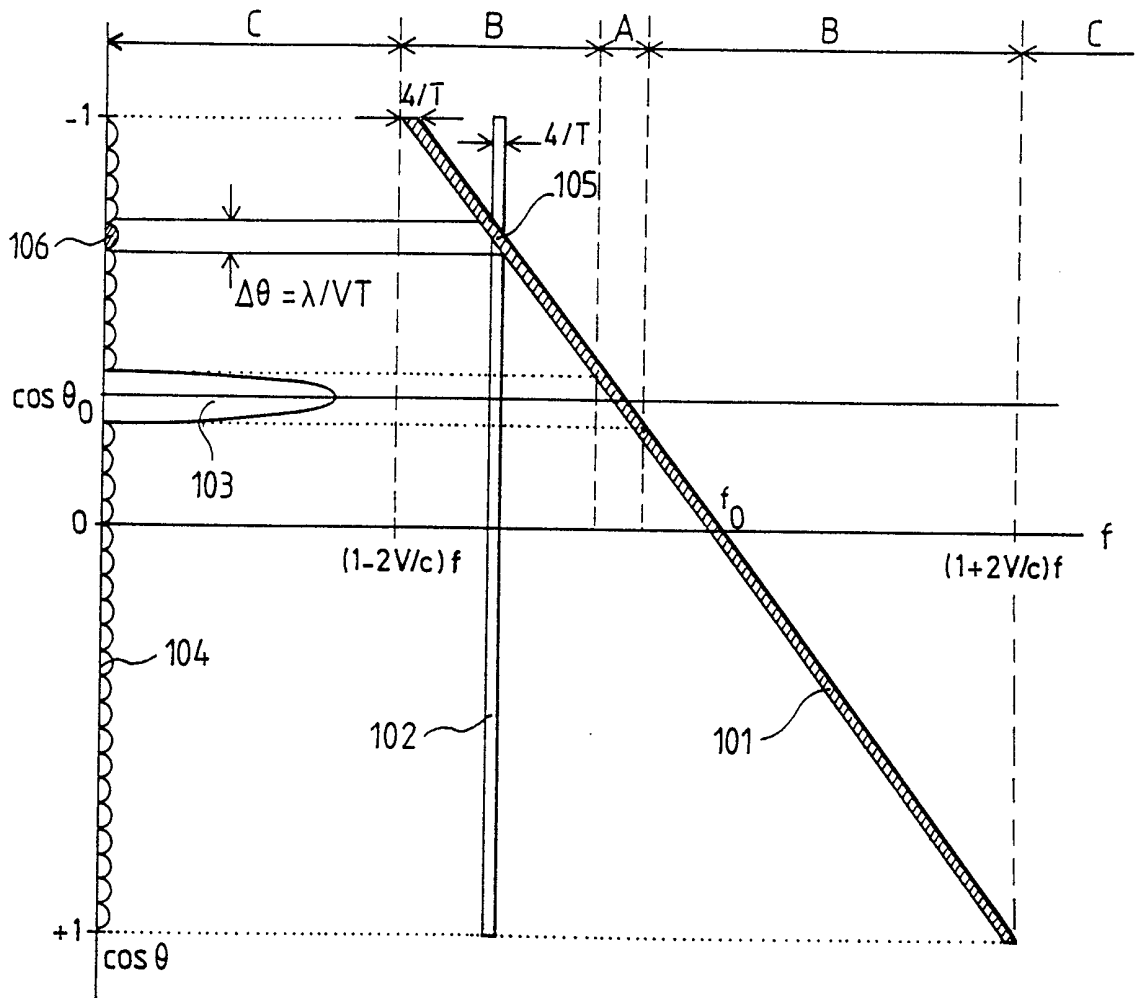


FIG.1

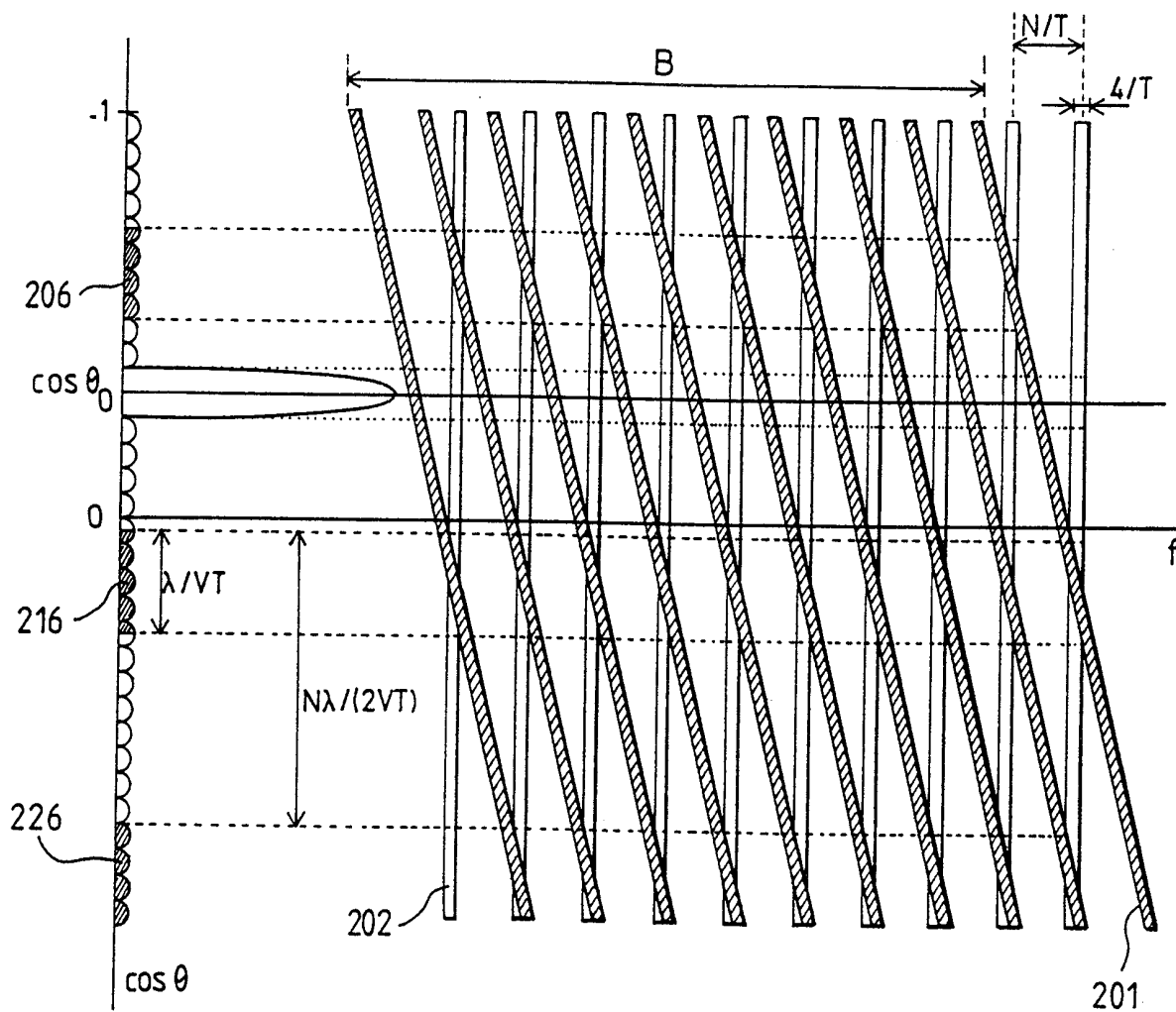


FIG. 2

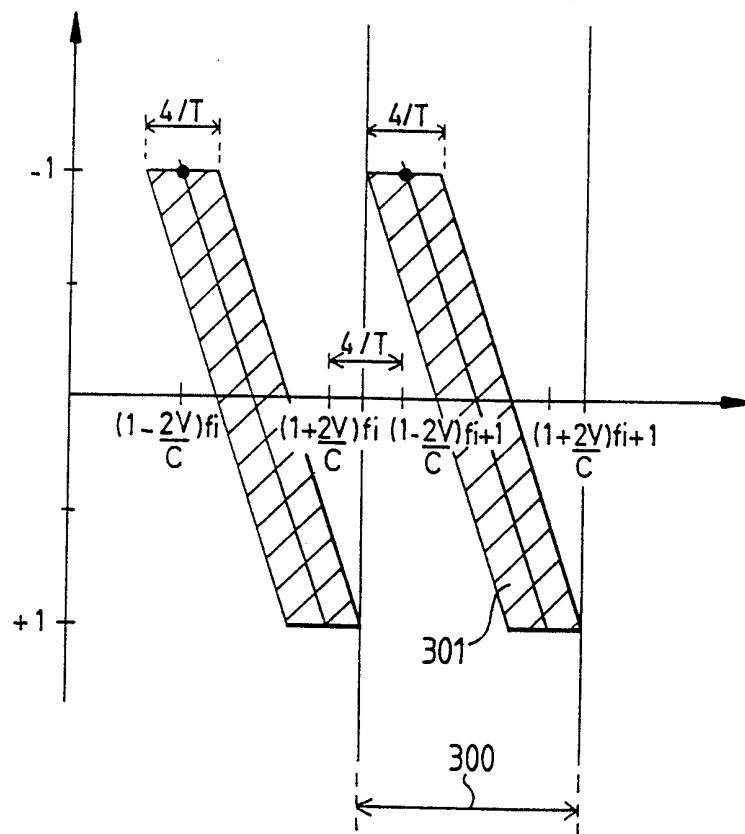


FIG. 3

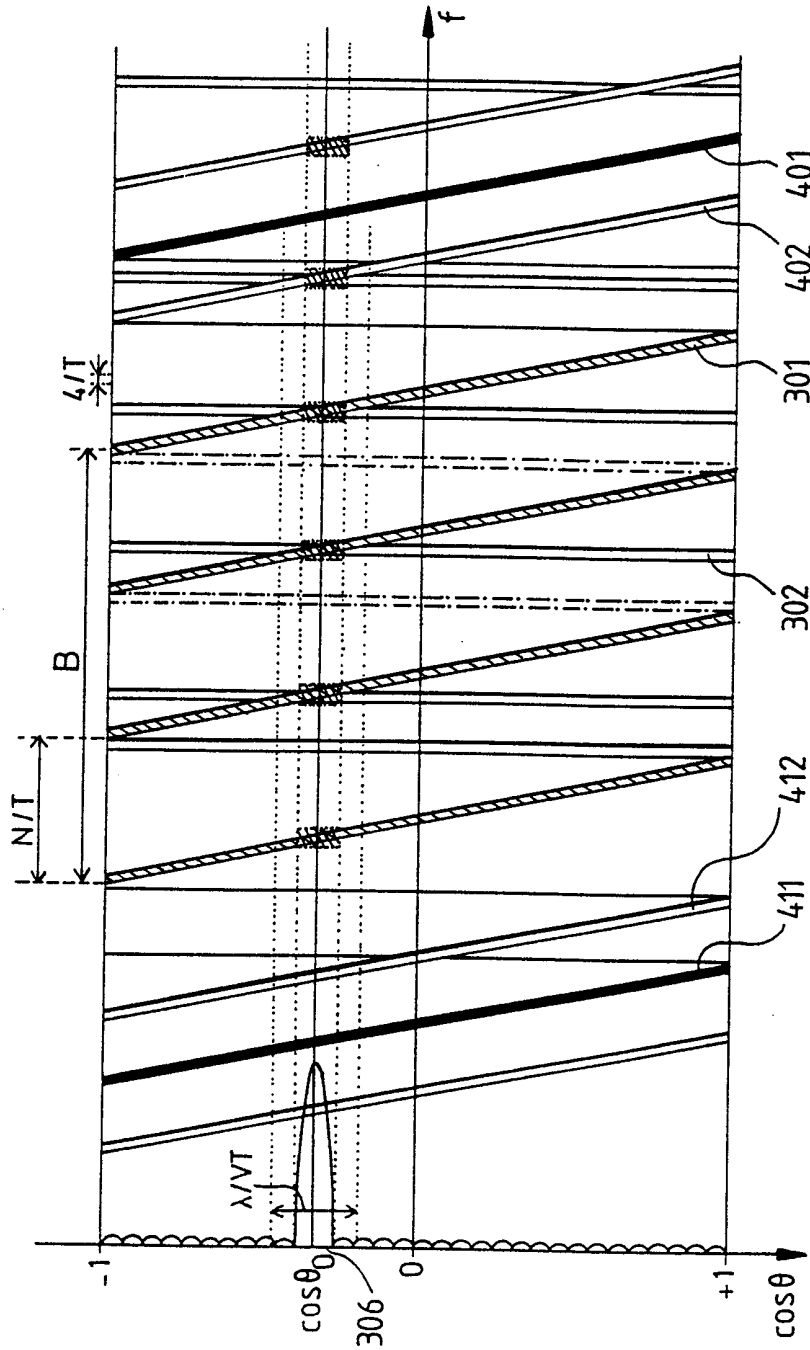


FIG. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 99/01091

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G01S15/52

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)
IPC 6 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 practical, 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.
Y	COX H; HUNG LAI: "Geometric comb waveforms for reverberation suppression" CA CONFERENCE ARTICLE, vol. 2, 31 October 1994 (1994-10-31) - 2 November 1994 (1994-11-02), pages 1185-1189, XP002092783 Los Alamitos, CA, USA, IEEE Comput. Soc. Press the whole document ---	1,6
Y	WO 93 16398 A (THOMSON CSF) 19 August 1993 (1993-08-19) page 12, line 34 - page 13, line 15 abstract; figures 2,3 page 15, line 8 - line 15; figure 5 & FR 2 687 226 A cited in the application ---	1,6
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "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)
- "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

- "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
- "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
- "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.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

29 July 1999

10/08/1999

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Breusing, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 99/01091

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category ^o	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>COX H: "Space-time processing for suppression of bottom reverberation " CA CONFERENCE ARTICLE , vol. 2, 30 October 1995 (1995-10-30) - 2 November 1995 (1995-11-02), pages 1296-1299, XP002092784 Los Alamitos, CA, IEEE Comput. Soc. Press, USA the whole document ---</p>	1
A	<p>NIHAT M. BILGUTAY, JAFAR SANIIE: "Frequency agile minimum detector for target detection and clutter rejection" PROCEEDINGS OF THE NATIONAL COMMUNICATIONS FORUM, vol. 40, no. Part 2, 1986, pages 1247-1252, XP002092785 Oak Brook, Illinois, USA the whole document ---</p>	1
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 097, no. 010, 31 October 1997 (1997-10-31) & JP 09 159752 A (NEC CORP), 20 June 1997 (1997-06-20) abstract -----</p>	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/FR 99/01091

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9316398 A	19-08-1993	FR 2687226 A	13-08-1993
		DE 69305158 D	07-11-1996
		DE 69305158 T	13-02-1997
		EP 0626073 A	30-11-1994

JP 09159752 A	20-06-1997	JP 2685041 B	03-12-1997

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De. .de Internationale No

PCT/FR 99/01091

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 6 G01S15/52

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 G01S

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	COX H; HUNG LAI: "Geometric comb waveforms for reverberation suppression" CA CONFERENCE ARTICLE, vol. 2, 31 octobre 1994 (1994-10-31) - 2 novembre 1994 (1994-11-02), pages 1185-1189, XP002092783 Los Alamitos, CA, USA, IEEE Comput. Soc. Press le document en entier ---	1,6
Y	WO 93 16398 A (THOMSON CSF) 19 août 1993 (1993-08-19) page 12, ligne 34 - page 13, ligne 15 abrégé; figures 2,3 page 15, ligne 8 - ligne 15; figure 5 & FR 2 687 226 A cité dans la demande --- -/--	1,6

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"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)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou 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

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"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

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

29 juillet 1999

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

10/08/1999

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Breusing, J

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De. . . de internationale No

PCT/FR 99/01091

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités. avec le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>COX H: "Space-time processing for suppression of bottom reverberation " CA CONFERENCE ARTICLE , vol. 2, 30 octobre 1995 (1995-10-30) - 2 novembre 1995 (1995-11-02), pages 1296-1299, XP002092784 Los Alamitos, CA, IEEE Comput. Soc. Press, USA le document en entier ----</p>	1
A	<p>NIHAT M. BILGUTAY, JAFAR SANIIE: "Frequency agile minimum detector for target detection and clutter rejection" PROCEEDINGS OF THE NATIONAL COMMUNICATIONS FORUM, vol. 40, no. Part 2, 1986, pages 1247-1252, XP002092785 Oak Brook, Illinois, USA le document en entier ----</p>	1
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 097, no. 010, 31 octobre 1997 (1997-10-31) & JP 09 159752 A (NEC CORP), 20 juin 1997 (1997-06-20) abrégé -----</p>	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Der. Je Internationale No

PCT/FR 99/01091

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 9316398 A	19-08-1993	FR 2687226 A DE 69305158 D DE 69305158 T EP 0626073 A	13-08-1993 07-11-1996 13-02-1997 30-11-1994
JP 09159752 A	20-06-1997	JP 2685041 B	03-12-1997