

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11) N° de publication :

2 901 364

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national :

06 51762

51) Int Cl<sup>8</sup> : G 01 S 7/52 (2006.01), G 01 S 15/89

12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 16.05.06.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.11.07 Bulletin 07/47.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : IXSEA Société par actions simplifiée  
— FR.

72) Inventeur(s) : JEAN FREDERIC, CHARLOT DIDIER  
et NAPOLITANO FABIEN.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET HARLE ET PHELIP.

54) SYSTEME D'IMAGERIE SONAR A OUVERTURE SYNTHETIQUE.

57) Système sonar à antenne synthétique comportant:

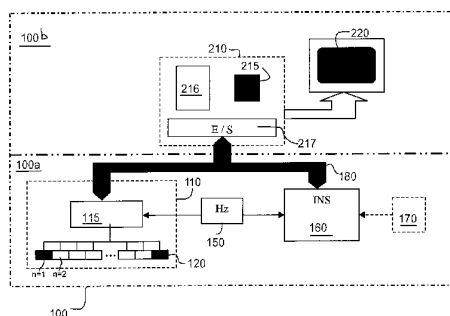
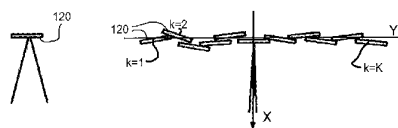
- un sonar (110) muni de moyens d'émission et de moyens de réception, lesdits moyens de réception comportant une antenne physique (120) composite ayant N transducteurs (121), ledit sonar étant situé sur un porteur apte à être déplacé;

- une centrale inertielle (160) disposée sur ledit porteur apte à mesurer des informations instantanées de position et d'orientation dudit porteur;

- une horloge (150) commune délivrant un signal temporel permettant la synchronisation à la fois de la centrale inertielle et du sonar;

- un moyen de détermination de la vitesse instantanée dudit porteur, la vitesse déterminée alimentant ladite centrale inertielle pour corriger la dérive de cette dernière; et,

- des moyens de micronavigation permettant d'obtenir une image du fond marin par formation des voies de ladite antenne synthétique à partir de K récurrences de fonctionnement du sonar en considérant que le mouvement de l'antenne physique au cours du déplacement du porteur est entièrement connu d'après les informations mesurées par ladite centrale inertielle.



FR 2 901 364 - A1



L'invention se rapporte aux systèmes sonars à antenne synthétique et à leur fonctionnement.

La résolution d'un sonar classique dépend, à une portée donnée, de la longueur de l'antenne. Ainsi, dans un premier temps la dimension linéaire de  
5 l'antenne a été augmentée pour améliorer la résolution des sonars.

Puis, la dimension des transducteurs ne pouvant pas augmenter en conséquence, il a été proposé des antennes physiques composites formées par un réseau linéaire de N transducteurs.

Enfin, la mise au point de nouveaux moyens de calcul et de traitement  
10 du signal a permis de développer ce que l'on nomme des antennes synthétiques.

Un sonar est par exemple utilisé en tant que sonar latéral. L'antenne composite est alors située sur l'un des flancs du poisson ou porteur qui est immergé dans le but de réaliser une image du fond marin. Le porteur peut être autonome, mais de préférence il est remorqué par un bâtiment de surface. Le  
15 porteur est déplacé le long d'une direction longitudinale Y sensiblement parallèle à la direction linéaire de l'antenne. Le sonar latéral a donc une direction d'observation perpendiculaire à la direction Y.

Le principe de l'antenne synthétique consiste à utiliser les signaux reçus par les différents transducteurs de l'antenne physique fonctionnant en récepteur  
20 à K instants, et donc à K emplacements successifs. Comme ceci est représenté de manière schématique sur la Figure 1, un traitement du signal adapté permet de reconstruire, de proche en proche, une antenne dont la dimension linéaire peut être importante. La résolution obtenue au moyen d'une antenne synthétique correspond à celle d'une antenne classique dont la longueur serait similaire à la  
25 longueur parcourue pendant les K différentes récurrences successives nécessaires à l'acquisition de données.

Plus précisément, pour former les voies d'une antenne synthétique, on combine linéairement les  $K \times N$  signaux délivrés par les N transducteurs lors de K récurrences successives. Une récurrence correspond à un intervalle de temps  
30 débutant par l'émission d'un signal sonore pendant un temps d'émission court, suivie par la réception de l'écho correspondant. Les coefficients linéaires de cette combinaison correspondent à des retards ou déphasages dus d'une part, aux différents emplacements des capteurs le long de l'antenne et, d'autre part, à la modification de la position relative de l'antenne par rapport à l'objet à détecter,  
35 i.e. de la source de l'écho.

Dans le cas simple où le mouvement du porteur, et donc de l'antenne, est parfaitement rectiligne et uniforme, ces retards sont connus. Dans la réalité le porteur bouge beaucoup et d'une manière très aléatoire. On ne connaît donc pas précisément la position des transducteurs d'émission et de réception lors des K récurrences de l'acquisition. Par conséquent, la géométrie de l'antenne à synthétisée est imprécise.

Ainsi, la précision d'un tel sonar à antenne synthétique est limitée par les écarts de l'antenne par rapport à une trajectoire de navigation théorique rectiligne et uniforme.

10 On a recherché différentes solutions pour remédier à ces inconvénients en vue d'augmenter la précision des observations.

Le document FR-2769372 part du constat que la précision nécessaire sur la mesure de la position de l'antenne est hors de portée d'une centrale inertielle (INS) car l'erreur sur la mesure de la position spatiale du bâtiment qu'elle équipe est trop importante.

Pour se dispenser de l'utilisation d'une INS, le document FR-2769372 indique qu'il a été mis au point des méthodes dites d'autofocalisation qui permettent d'obtenir, entre autres choses, la position de l'antenne à partir du traitement des différents signaux de mesure. On constate que, dans la méthode particulière d'autofocalisation décrite dans le brevet américain US-4244036, la précision sur l'angle de rotation de l'antenne entre deux récurrences constitue le facteur limitant la précision de la méthode.

Pour surmonter cette difficulté, le document FR-2769372 se propose de corriger les effets dus aux variations angulaires de l'antenne en utilisant un gyromètre et en mesurant l'angle de site du signal de réception au moyen d'une antenne auxiliaire perpendiculaire à l'antenne composite principale.

L'invention a donc pour but de proposer un autre système sonar à antenne synthétique permettant d'obtenir une résolution améliorée en utilisant une antenne synthétique.

30 Pour cela l'invention a pour objet un système sonar à antenne synthétique comportant : un sonar muni de moyens d'émission et de moyens de réception, les moyens de réception comportant une antenne physique composite ayant N transducteurs, le sonar étant situé sur un porteur apte à être déplacé ; une centrale inertielle disposée sur le porteur apte à mesurer des informations instantanées de position et d'orientation du porteur ; et, une horloge.

Le système sonar selon l'invention se caractérise en ce que l'horloge est une horloge commune délivrant un signal temporel permettant la synchronisation à la fois de la centrale inertielle et du sonar, et en ce que le système sonar comporte également : un moyen de détermination de la vitesse instantanée du porteur, la vitesse déterminée alimentant la centrale inertielle pour corriger la dérive de cette dernière ; et, des moyens de micronavigation permettant d'obtenir une image du fond marin par formation des voies de l'antenne synthétique à partir de K récurrences de fonctionnement du sonar en considérant que le mouvement de l'antenne physique au cours du déplacement du porteur est entièrement connu d'après les informations mesurées par la centrale inertielle.

De préférence, les moyens de micronavigation permettent également d'obtenir une information de bathymétrie du fond marin.

Dans un mode de réalisation préféré, les moyens de micronavigation étant des premiers moyens de micronavigation, le système sonar comporte, en outre, des seconds moyens de micronavigation permettant de calculer des informations instantanées de déplacement et d'orientation de l'antenne physique.

De préférence, les seconds moyens de micronavigation utilisent une méthode d'autofocalisation pour le calcul des informations instantanées de position et d'orientation de l'antenne physique.

De préférence encore, les seconds moyens de micronavigation sont utilisés en tant que moyen de détermination de la vitesse instantanée du porteur, la vitesse déterminée alimentant la centrale inertielle étant déduite des informations calculées par les seconds moyens de micronavigation.

Dans un autre mode de réalisation, les moyens de détermination de la vitesse sont constitués par un loch, par exemple Doppler, apte à délivrer une vitesse instantanée mesurée en tant que vitesse déterminée.

De préférence, les moyens de micronavigation fonctionnent en temps réel.

Dans un mode de réalisation particulier, l'antenne physique ayant une longueur de 2m et étant constituée de N transducteurs fonctionnant en réception, les moyens d'émission générant un signal sonore ayant une fréquence autour de 100kHz, le sonar permet d'obtenir une image ayant une résolution de l'ordre de 15cm à une portée de 300m.

L'invention a également pour objet un porteur destiné à être déplacé selon sa direction longitudinale et comportant, sur chacun de ses flancs, un système sonar selon l'invention.

5 L'invention a également pour objet un procédé de formation d'une antenne synthétique en utilisant un système sonar comportant une antenne physique composite ayant N transducteurs, le sonar étant situé sur un porteur apte à être déplacé dans une direction de déplacement ; une centrale inertielle disposée sur ledit porteur ; et, une horloge.

10 Le procédé selon l'invention se caractérise en ce qu'il consiste à : déterminer une vitesse instantanée du porteur ; corriger une dérive de la centrale en alimentant cette dernière avec la vitesse instantanée déterminée ; synchroniser la centrale et le sonar au moyen d'un signal d'horloge délivré par l'horloge qui est utilisée en tant qu'horloge maîtresse ; une étape de K insonifications d'une zone à imager ; une étape de K réceptions des N signaux  
15 électriques produits par chacun des transducteurs de l'antenne physique ; une étape de mesure des informations instantanées de position et d'orientation du porteur au moyen de la centrale ; une étape de micronavigation consistant à former les voies de l'antenne synthétique par corrélation entre les  $K \times N$  signaux en considérant que le mouvement de l'antenne physique est connu d'après les  
20 informations mesurées par la centrale inertielle.

De préférence, le procédé comporte une étape de formation d'une image parmi une image avec des ombres et des échos et une image bathymétrique, en utilisant les données obtenues après formation de l'antenne synthétique lors de l'étape de micronavigation.

25 De préférence encore, l'étape de micronavigation étant une première étape de micronavigation, le procédé comporte, en outre, une seconde étape de micronavigation consistant à former les voies de l'antenne synthétique par corrélation entre les  $K \times N$  signaux sans connaître a priori le mouvement de l'antenne physique, la seconde étape de micronavigation permettant, entre  
30 autre, de calculer des informations instantanées de position et d'orientation de l'antenne physique.

De préférence, la seconde étape de micronavigation met en œuvre une méthode d'autofocalisation.

De préférence, on détermine une vitesse instantanée du porteur à partir des informations déterminées lors de la seconde étape de micronavigation, la vitesse ainsi déterminée alimentant la centrale pour en corriger la dérive.

De préférence encore, on réalise en temps réel au moins une étape parmi les 5 étapes de première micronavigation, de seconde micronavigation et de formation d'une image.

L'invention sera mieux comprise et d'autres buts, détails, caractéristiques et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement au cours de la description d'un mode de réalisation particulier de l'invention donné uniquement à titre 10 illustratif et non limitatif en référence aux dessins annexés. Sur ces dessins :

la Figure 1 représente schématiquement, à gauche, une antenne physique composite et, à droite, le principe général d'une antenne synthétique obtenue par le déplacement de l'antenne physique ;

la Figure 2 représente l'architecture matérielle du système sonar selon 15 l'invention ;

la Figure 3 représente schématiquement la position de l'antenne physique composite à deux récurrences successives  $k$  et  $k+1$  ;

la Figure 4 représente sous forme d'un schéma blocs le fonctionnement du système sonar de la figure 2 ;

la Figure 5 représente un graphique indiquant la correction de la dérive de l'INS en fonction du temps selon la présente invention ; et,

la Figure 6 est une image obtenue par le système sonar selon l'invention.

Le système sonar selon l'invention est représenté schématiquement à la 25 Figure 2. Le système sonar 100 comporte une partie qui est destinée à être immergée 100a et qui est située sur le porteur, et une partie 100b destinée à être à bord du navire de surface. Les parties 100a et 100b du système sonar 100 communiquent entre elles via des câbles électriques adaptés.

La partie immergée 100a comporte un sonar 110 équipé d'une antenne 30 120 composée de  $N$  transducteurs fonctionnant en réception et  $N'$  transducteurs fonctionnant en émission. Le sonar 110 comporte l'électronique 115 adaptée pour émettre périodiquement le signal sonore souhaité et recevoir les signaux temporels de chacun des transducteurs fonctionnant en récepteur. Si l'électronique permet de basculer rapidement de la fonction d'émission à la

fonction de réception, un même transducteur pourrait être utilisé pour ces deux fonctions.

L'électronique 115 permet également une communication avec la partie 100b du système sonar 100.

5           La partie 100a comporte également une centrale inertielle (INS) 160. Par exemple, la centrale inertielle 160 peut être la centrale de type « Phins » de l'entreprise IXSEA ayant une période d'échantillonnage de 10 ms. Le fonctionnement d'une centrale inertielle est bien connu et n'a pas à être détaillé ici. La centrale 160 équipée de capteurs adaptés mesure le mouvement du  
10 porteur et émet en sortie des informations instantanées mesurées sur la position et l'orientation du porteur à chaque instant. La précision sur les angles est de l'ordre de 0,01°.

Le système sonar 100 comporte également une horloge commune 150. Par exemple, l'horloge de la société CMAX référencée CFPT37 peut être  
15 utilisée. Elle délivre un signal d'horloge à 40MHz aux différents composants du système sonar 100 de manière à ce que l'ensemble de l'architecture dispose d'une référence temporelle commune. En particulier, le signal d'horloge est appliqué au sonar 110 et à la centrale 160. Ainsi, le sonar 110 et INS 160 sont synchronisés à mieux que 25 nanosecondes, ce qui permet, comme cela sera  
20 décrit ci-après, le traitement synchronisé des signaux d'imagerie et de positionnement. En variante, l'horloge maîtresse pourrait être l'horloge interne du sonar ou bien l'horloge d'un autre composant du système. Mais il est préférable, comme cela est représenté sur la figure 2, d'ajouter une horloge ayant une grande précision pour cadencer l'ensemble du système.

25           La partie 100b du système sonar comporte un calculateur 210. Ce calculateur peut être un ordinateur du type PC comportant une unité de calcul ou processeur 215, des moyens de mémorisation 216, comme des mémoires vives et des mémoires mortes, ainsi que des interfaces d'entrée et sortie permettant la communication, d'une part, avec la partie inférieure 100a, plus particulièrement  
30 avec le sonar 110 et l'INS 160, et, d'autre part, avec des périphériques tels qu'un moniteur 220 ou une imprimante de manière à visualiser sous forme d'images les informations collectées et traitées.

En fonctionnement, le porteur navigue à une altitude moyenne par rapport au fond marin mesurée selon un axe vertical Z. Dans le plan de visée du  
35 sonar latéral, la direction longitudinale Y correspond à la direction de

déplacement moyen du porteur et la direction X est située dans un plan perpendiculaire à la direction Y contenant la direction Z.

En référence à la figure 3, le porteur immergé porte, sur chacun de ses flancs, une antenne physique composite 120 constituée de N transducteurs 121 fonctionnant en récepteurs formant un réseau linéaire. L'axe de l'antenne 120 se confond avec l'axe longitudinal du porteur.

En plus des N transducteurs utilisés en réception, deux transducteurs 122 disposés à chacune des extrémités de l'antenne 120 sont utilisés en émetteurs. Dans un autre mode de réalisation, un seul transducteur fonctionnant en émetteur peut être disposé au milieu du réseau. Dans encore un autre mode de réalisation, trois transducteurs dont deux disposés à chacune des extrémités de l'antenne fonctionnent en émetteurs.

Le principe de la formation de l'antenne synthétique va maintenant être décrit. Sur la figure 3, l'antenne physique 120 a été représentée d'abord à la récurrence k puis à la récurrence suivante k+1. Dans le mode de réalisation illustré, l'antenne 120 comporte huit transducteurs 121 numérotés de gauche à droite sur la figure 2 : n=1 à n=8. Les transducteurs 121 disposés aux extrémités de l'antenne physique (n=1 et n=8) sont utilisés en émission. Les autres transducteurs intermédiaires (n=2 jusqu'à n=7) sont utilisés en réception.

Entre deux récurrences successives, l'antenne physique se déplace. On cherche donc à connaître un écart, ou mouvement de micronavigation, par rapport à la navigation souhaitée, c'est-à-dire par rapport à une trajectoire rectiligne et uniforme. En effet, les effets d'inertie, de courant ou l'équivalent génèrent des fluctuations de la position du porteur par rapport à cette trajectoire souhaitée.

Le mouvement de l'antenne, qui est un solide, entre deux instants successifs est donc déterminé par la variation de la position du centre géométrique de l'antenne (trois paramètres de position) et de l'orientation de l'antenne autour de ce centre géométrique (trois paramètres angulaires).

Si le porteur se déplaçait effectivement selon la trajectoire souhaitée, à une vitesse maximum de  $L/2$ , où L est la longueur de l'antenne physique, il y aurait une très grande corrélation entre les signaux obtenus sur les transducteurs de la seconde moitié de l'antenne physique 120b à la récurrence k et les transducteurs de la première moitié de l'antenne physique 120a à la récurrence k+1.

On en conclut qu'à contrario, si entre les récurrences  $k$  et  $k+1$ , l'antenne physique subit un micromouvement, les retards supplémentaires à introduire lors de la formation des voies de l'antenne synthétique, retards permettant d'obtenir le maximum de corrélation entre les transducteurs de la seconde moitié de l'antenne à la récurrence  $k$  et ceux de la première moitié de l'antenne à la récurrence  $k+1$ , contiennent une information sur l'écart au mouvement idéal de l'antenne.

Mais les déphasages supplémentaires à introduire proviennent de deux contributions différentes :

10 un retard pour corrélérer deux transducteurs, l'antenne ayant subit un micromouvement ;

un retard du au fait que la source  $M$  est observée sous un autre angle entre les récurrences  $k$  et  $k+1$ .

15 En se référant à la figure 4, deux techniques sont mises en œuvre dans l'invention pour évaluer et séparer ces contributions.

La première méthode mise en œuvre, que l'on appellera dans ce qui suit première méthode de micronavigation 310, consiste à utiliser les informations instantanées de position et d'orientation mesurées par la centrale inertielle 160 pour déterminer entièrement le mouvement de l'antenne 120 entre une 20 récurrence  $k$  et la récurrence suivante  $k+1$ .

Une fois que le mouvement de l'antenne 120 est connu, la synthèse de l'antenne peut avoir lieu sur les  $K$  dernières récurrences.

25 Et la synthèse, par exemple cohérente, des  $K \times N$  signaux provenant des différents transducteurs permet la formation d'image du type ombres et échos du fond marin.

De plus, les retards additionnels introduits lors de la formation des voies pour retrouver le maximum de cohérence entre les différents signaux sont interprétés comme intégralement dus à l'observation de la source  $M$  sous différents angles. Ceci permet principalement de déterminer la position verticale 30 de la source  $M$ , ce qui correspond à une information bathymétrique ou topographique du fond marin.

Selon une seconde méthode, appelée seconde méthode de micronavigation 320, des méthodes de traitement du signal sont mises en œuvre pour séparer les contributions dues à la source et celles dues au mouvement de 35 l'antenne. Par exemple, la méthode d'autofocalisation décrite dans le brevet US-

4244036 peut être utilisée. Elle peut éventuellement être améliorée en utilisant la méthode décrite dans le brevet FR-2738918 par laquelle les centres de phase de l'antenne physique sont déplacés le long de l'antenne entre deux récurrences successives pour augmenter la corrélation entre ces centres de phase. Par la  
5 seconde méthode de micronavigation 320, on peut donc calculer des informations instantanées de position et d'orientation de l'antenne.

A la Figure 4, on a représenté sous forme d'un schéma blocs le fonctionnement du système sonar 100. Périodiquement l'horloge 150 délivre un signal d'horloge au sonar 110 et à la centrale 160, de sorte que ces deux sous-  
10 systèmes sont totalement synchronisés. A chaque récurrence  $k$ , le sonar délivre  $N$  signaux temporels  $S_{n,k}$ . Simultanément la centrale 160 délivre des mesures de la position instantanée  $xyz(t)$  et de l'orientation instantanée  $\theta\phi\psi(t)$ .

Un algorithme de première micronavigation 310 mis en œuvre sous la forme d'un logiciel dont les instructions sont stockées dans les moyens de  
15 mémorisation 216 de l'ordinateur 206 est alors exécuté par le processeur 215. Cet algorithme, en utilisant les données de position mesurées et les signaux  $S_{n,k}$  sur une profondeur de  $K$  récurrences synthétise, en temps réel, l'antenne du sonar.

De plus, un algorithme de formation d'image du type ombres et échos  
20 330 utilise les informations obtenues lors de la synthèse de l'antenne lors de la première micronavigation 310 pour générer, en temps réel, une image du type ombre écho sur l'écran 220.

De plus, un algorithme de formation d'image bathymétrique 340 utilise  
25 les informations obtenues lors de la synthèse de l'antenne lors de la première micronavigation 310 pour générer, en temps réel, une image bathymétrique du fond marin.

Si la synthèse de l'antenne en temps réel ne présente pas de problème particulier au sens où le nombre d'opérations de calcul est réduit compte tenu de la fréquence de travail des processeurs des ordinateurs particuliers actuels et du  
30 temps disponible entre deux récurrences de fonctionnement du sonar, la possibilité de former des images en temps réel est plus délicate. Pour cela la méthode connue de « fast factorised back projection » (référence est par exemple faite au travail intitulé « études des sonars à antenne synthétique à haute résolution - "Studies in High Resolution Synthetic Aperture Sonar" - par S.  
35 BANKS de « university college London », 2002) a été fortement parallélisée pour

généraliser un algorithme apte à être exécuté par un ordinateur possédant plusieurs processeurs fonctionnant en parallèle. Il est donc possible d'afficher à l'écran une image correspondant à une fenêtre glissante d'observation du fond marin de 1m par 600m à chaque récurrence, typiquement de 400ms.

5 Un algorithme de seconde micronavigation 320 est également mis en œuvre sous la forme d'un logiciel. Soit cet algorithme de seconde micronavigation est exécuté sur le même ordinateur 210 que l'algorithme de première micronavigation 310, soit ce second algorithme est mise en œuvre sur un autre ordinateur ou l'équivalent.

10 La méthode de seconde micronavigation 320 prend en entrée les signaux  $S_{n,k}$  sur une profondeur de  $K$  récurrences pour déterminer à la fois les contributions provenant du mouvement de l'antenne et les contributions provenant de l'observation d'un point du fond marin sous un angle variant au cours du temps. La méthode de seconde micronavigation 320 permet de générer  
15 des informations instantanées de déplacement et d'orientation de l'antenne physique.

Dans le mode de réalisation actuellement préféré de l'invention, les positions calculées par la seconde micronavigation 320 sont stockées dans un journal de bord loch 350 qui est utilisé pour corriger la dérive de la centrale  
20 inertielle 160.

En effet, pour atteindre une précision suffisante pour que les informations mesurées par la centrale inertielle 160 soient utilisables dans le procédé d'imagerie, il est non seulement important que la centrale et le sonar soient synchronisés, mais également que la dérive de la centrale inertielle 160  
25 soit corrigée. Comme représenté à la Figure 5, la centrale inertielle ne possédant pas de point de repère fixe, la dérive, qui correspond à la différence entre la position mesurée par la centrale inertielle et la position réelle, varie en fonction du mouvement même de la centrale. Il est donc nécessaire d'alimenter la centrale avec une information de vitesse.

30 Dans le mode de réalisation préférée du système selon l'invention, cette vitesse est déterminée à partir des informations obtenues en sortie de la méthode de seconde micronavigation 320. La valeur instantanée de la vitesse déterminée permet de corriger la dérive représentée en trait plein sur la Figure 5.

Grâce à cette correction, la dérive est ramenée à un profil linéaire, représenté en traits interrompus sur la figure 5. Ce comportement linéaire de la dérive de la centrale 160 n'affecte pas la mise en œuvre de la méthode de première navigation, puisque l'influence de cette dérive linéaire est négligeable sur la qualité de l'image et très réduite sur le géoreferencement de cette image.

5 Enfin, à la Figure 6, une image obtenue au moyen du système de sonar selon l'invention est présentée. Il s'agit d'une image sonar représentée de manière classique en niveaux de gris. Elle a été obtenue en utilisant une antenne physique de longueur  $L$  égale à 2 m, composée de 24 transducteurs en réception et de trois transducteurs en émission. La fréquence de travail  $f$  est de l'ordre de 100 kHz environ, soit une longueur d'onde  $\lambda$  de 1,5cm. L'antenne est synthétisée sur les  $K=15$  dernières récurrences avec une vitesse de déplacement inférieure à une vitesse maximum de déplacement linéaire du porteur de  $V_{max} = 5$  nœuds.

10 La précision de l'image obtenue en utilisant le système sonar selon l'invention, qui autorise une connaissance de la position grâce à l'INS à environ  $\lambda/8$  (à une dérive linéaire près), est de l'ordre de 15cm pour une portée  $R$  de 300m.

15 Dans un autre mode de réalisation, au lieu d'ajouter une horloge pour synchroniser les fonctionnements de la centrale et du sonar, l'horloge de l'un de ces deux éléments peut être utilisée pour délivrer un signal temporel d'horloge à l'autre de ces deux éléments.

20 Bien que l'invention ait été décrite en référence à un mode de réalisation particulier, elle n'est nullement limitée à ce mode de réalisation. Elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons qui entrent dans le cadre de l'invention.

25 Ainsi, dans un mode de réalisation simplifié, le système comporte un capteur de vitesse 170 (en traits interrompus sur la Figure 3) alimentant la centrale pour en corriger la dérive. Un tel capteur peut être un capteur Doppler, un capteur électromagnétique ou l'équivalent.

30 Eventuellement, un tel capteur de vitesse peut équiper le système sonar selon le mode de réalisation préféré décrit ci-dessus pour disposer d'une information redondante sur la vitesse du porteur.

### REVENDEICATIONS

1. Système sonar à antenne synthétique comportant :
  - un sonar (110) muni de moyens d'émission et de moyens de réception, lesdits moyens de réception comportant une antenne physique (120) composite
- 5 ayant N transducteurs (121), ledit sonar étant situé sur un porteur apte à être déplacé ;
  - une centrale inertielle (160) disposée sur ledit porteur apte à mesurer des informations instantanées de position et d'orientation dudit porteur ; et,
- 10 caractérisé en ce que ladite horloge est une horloge commune délivrant un signal temporel permettant la synchronisation à la fois de la centrale inertielle et du sonar, et en ce que ledit système sonar comporte également :
  - un moyen de détermination de la vitesse instantanée dudit porteur (350), la vitesse déterminée alimentant ladite centrale inertielle pour corriger la
- 15 dérive de cette dernière ; et,
  - des moyens de micronavigation (310) permettant d'obtenir une image du fond marin par formation des voies de ladite antenne synthétique à partir de K récurrences de fonctionnement du sonar en considérant que le mouvement de l'antenne physique au cours du déplacement du porteur est entièrement
- 20 connu d'après les informations mesurées par ladite centrale inertielle.
2. Système sonar selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de micronavigation (310) permettent également d'obtenir une information de bathymétrie du fond marin.
3. Système sonar selon la revendication 1 ou la revendication 2,
- 25 caractérisé en ce que, lesdits moyens de micronavigation étant des premiers moyens de micronavigation (310), ledit système sonar comporte, en outre, des seconds moyens de micronavigation (320) permettant de calculer des informations instantanées de déplacement et d'orientation de l'antenne physique (120).
- 30 4. Système sonar selon la revendication 3, caractérisé en ce que lesdits seconds moyens de micronavigation (320) utilisent une méthode d'autofocalisation pour le calcul des informations instantanées de position et d'orientation de l'antenne physique (120).
5. Système selon la revendication 3 ou la revendication 4, caractérisé en
- 35 ce que lesdits seconds moyens de micronavigation (320) sont utilisés en tant

que moyen de détermination de la vitesse instantanée dudit porteur, la vitesse déterminée alimentant ladite centrale inertielle (160) étant déduite des informations calculées par les seconds moyens de micronavigation.

- 5 6. Système sonar selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que lesdits moyens de détermination de la vitesse sont constitués par un loch Doppler (350) apte à délivrer une vitesse instantanée mesurée en tant que vitesse déterminée.
7. Système selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que lesdits moyens de micronavigation (310 ; 320) fonctionnent en temps réel.
- 10 8. Système sonar selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'antenne physique (120) ayant une longueur de 2m et étant constituée de N transducteurs (121) fonctionnant en réception, que lesdits moyens d'émission générant un signal sonore ayant une fréquence autour de 100kHz, ledit sonar (110) permet d'obtenir une image ayant une résolution de l'ordre de
- 15 15cm à une portée de 300m.
9. Porteur destiné à être déplacé selon sa direction longitudinale comportant, sur chacun de ses flancs, un système sonar, caractérisé en ce que chacun desdits systèmes sonars latéraux est un sonar selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.
- 20 10. Procédé de formation d'une antenne synthétique en utilisant un système sonar comportant :
- une antenne (120) physique composite ayant N transducteurs (121), ledit (110) sonar étant situé sur un porteur apte à être déplacé dans une direction de déplacement ;
- 25 - une centrale inertielle (160) disposée sur ledit porteur ; et,
- une horloge (150),
- caractérisé en ce que ledit procédé consiste à :
- déterminer une vitesse instantanée dudit porteur ;
  - corriger une dérive de ladite centrale en alimentant cette dernière avec
- 30 ladite vitesse instantanée déterminée ;
- synchroniser ladite centrale et ledit sonar au moyen d'un signal d'horloge délivré par ladite horloge qui est utilisée en tant qu'horloge maîtresse ;
  - une étape de K insonifications d'une zone à imager ;

- une étape de K réceptions des N signaux électriques produits par chacun des transducteurs de ladite antenne physique ;
  - une étape de mesure des informations instantanées de position et d'orientation dudit porteur au moyen de ladite centrale ;
- 5 - une étape de micronavigation consistant à former les voies de ladite antenne synthétique par corrélation entre les KxN signaux en considérant que le mouvement de l'antenne physique est connu d'après les informations mesurées par ladite centrale inertielle.
11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comporte, en  
10 outre, une étape de formation d'une image parmi une image avec des ombres et des échos et une image bathymétrique, en utilisant les données obtenues après formation de l'antenne synthétique lors de l'étape de micronavigation.
12. Procédé selon la revendication 10 ou la revendication 11, caractérisé en ce que, ladite étape de micronavigation étant une première étape de  
15 micronavigation, le procédé comporte, en outre, une seconde étape de micronavigation consistant à former les voies de ladite antenne synthétique par corrélation entre les KxN signaux sans connaître a priori le mouvement de l'antenne physique (120), ladite seconde étape de micronavigation permettant, entre autre, de calculer des informations instantanées de position et  
20 d'orientation de l'antenne physique.
13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que ladite seconde étape de micronavigation met en œuvre une méthode d'autofocalisation.
14. Procédé selon la revendication 12 ou la revendication 13, caractérisé en ce que l'on détermine une vitesse instantanée dudit porteur à partir des  
25 informations déterminées lors de ladite seconde étape de micronavigation, la vitesse ainsi déterminée alimentant ladite centrale (160) pour en corriger la dérive.
15. Procédé selon l'une des revendications 10 à 14, caractérisé en ce que l'on réalise en temps réel au moins une étape parmi les étapes de première  
30 micronavigation, de seconde micronavigation et de formation d'une image.

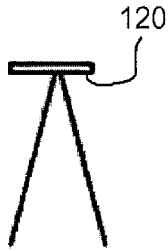


Fig. 1A

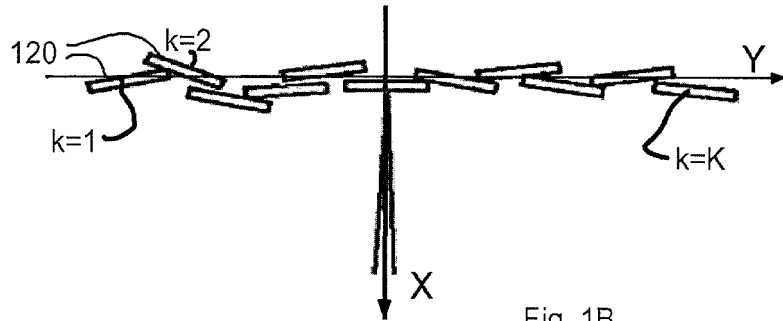


Fig. 1B

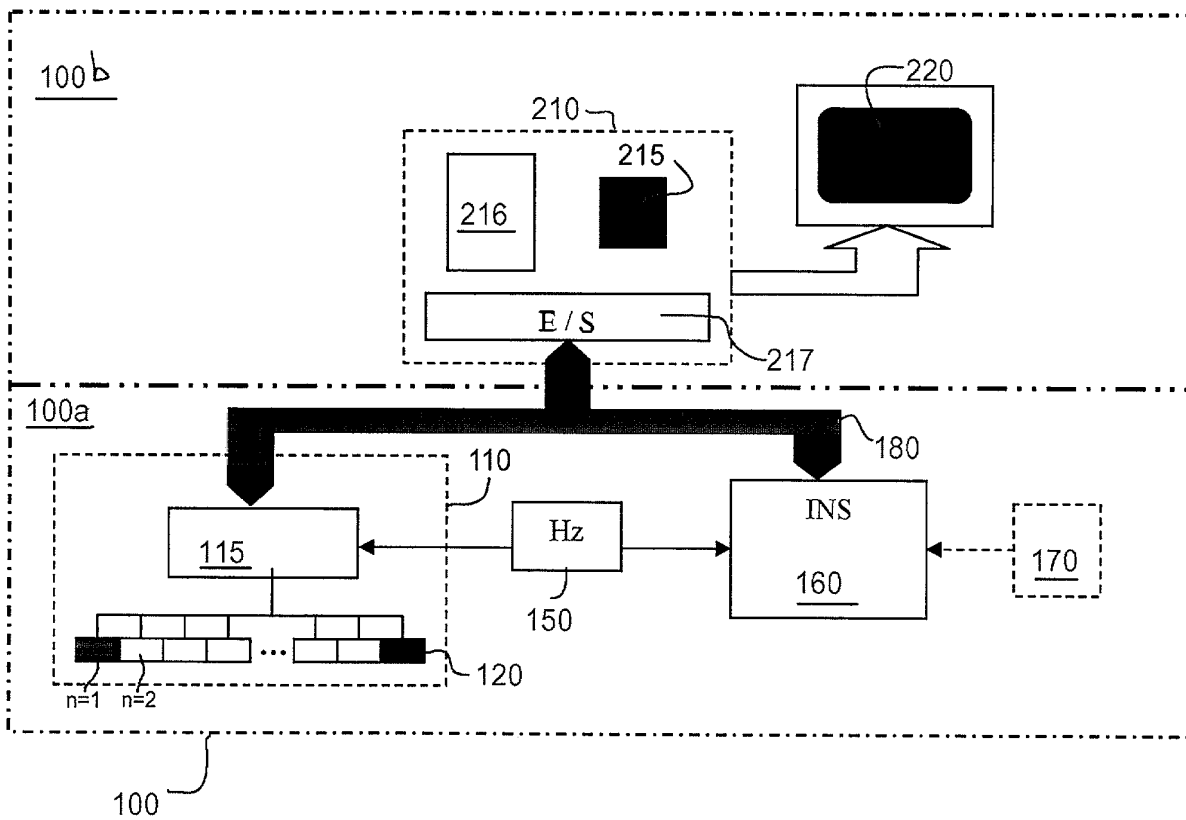


Fig. 2

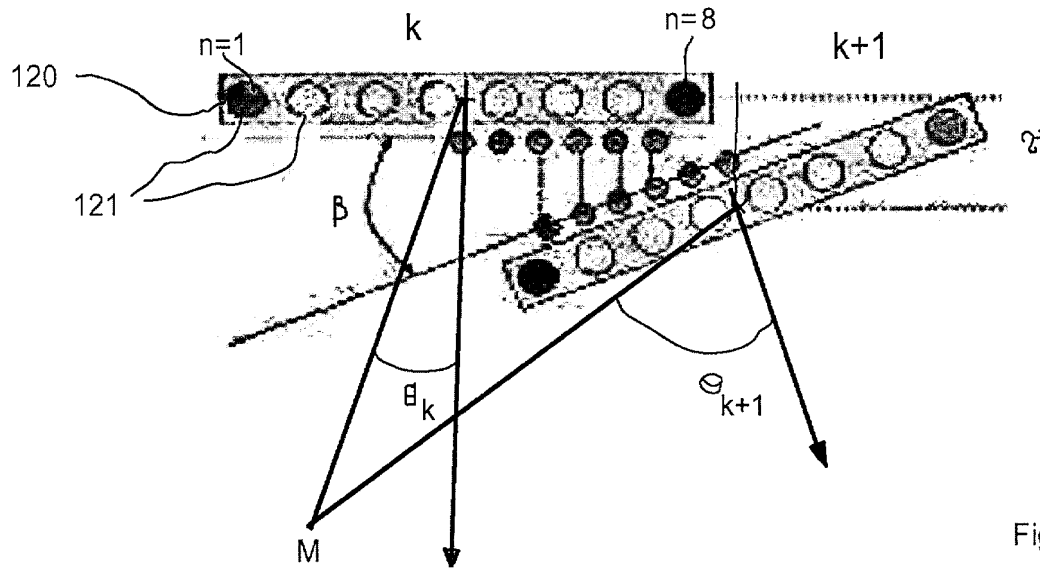


Fig. 3

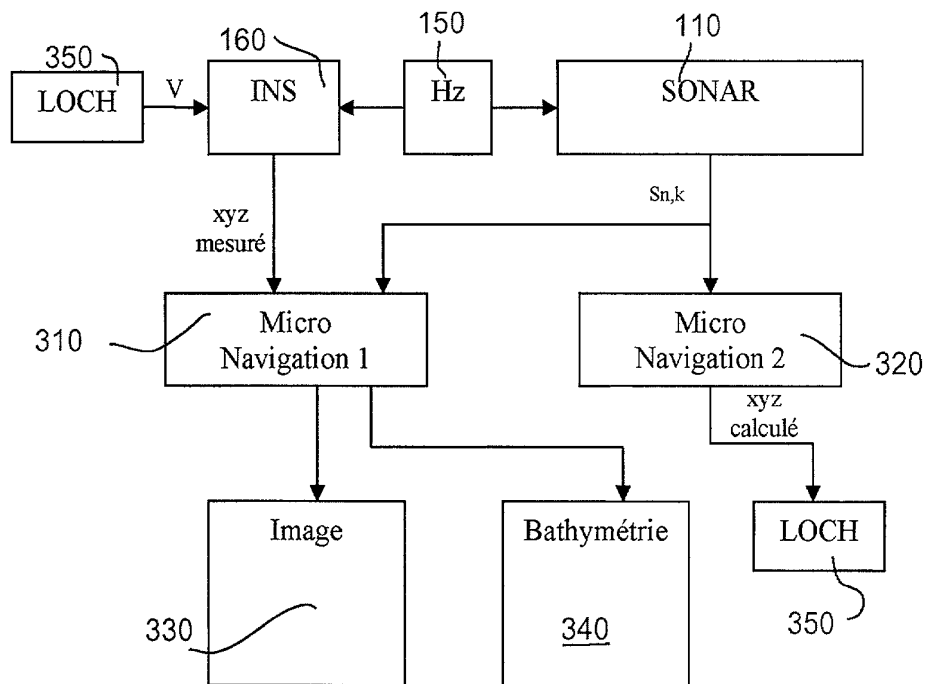


Fig. 4

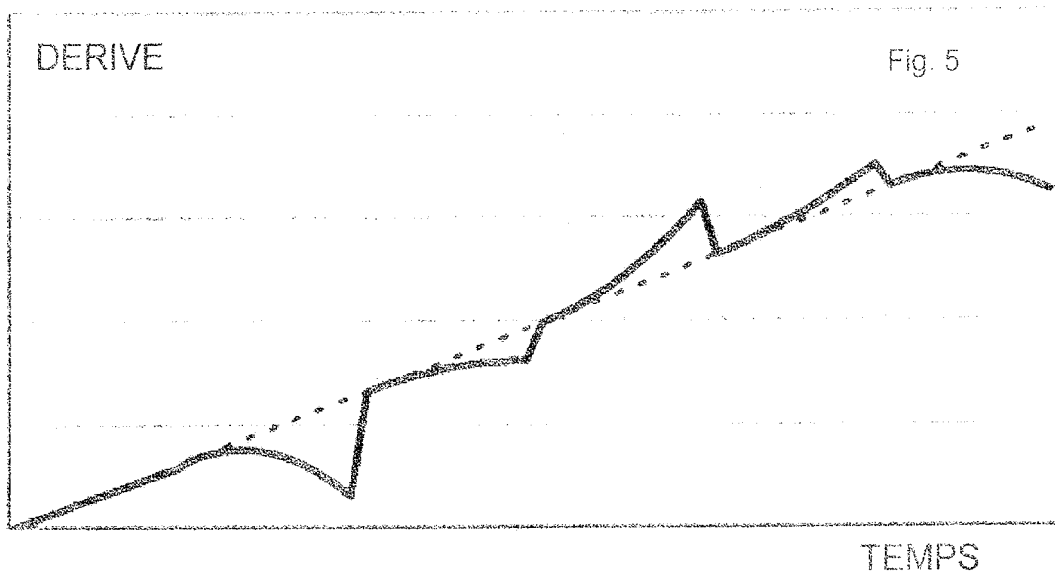
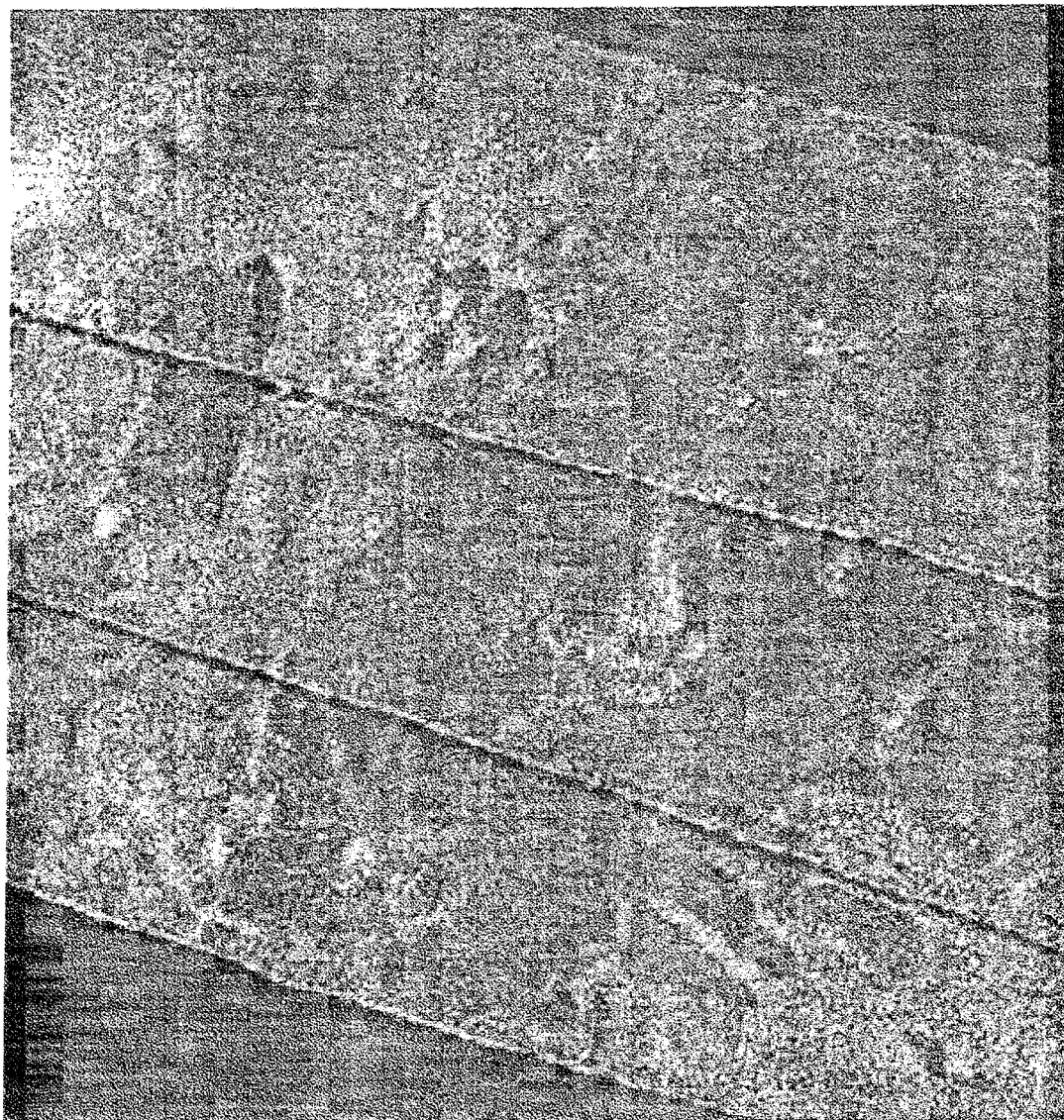


Fig. 6





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 680841  
FR 0651762

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	HANSEN R E ET AL: "Signal processing for AUV based interferometric synthetic aperture sonar" OCEANS 2003. MTS/IEEE PROCEEDINGS. CELEBRATING THE PAST, TEAMING TOWARD THE FUTURE. SAN DIEGO, CA, SEPT. 22 - 26, 2003, OCEANS MTS/IEEE CONFERENCE PROCEEDINGS, COLUMBIA, MD : MARINE TECHN. SOC, US, vol. VOL. 5 OF 5, 22 septembre 2003 (2003-09-22), pages 2438-2444, XP010694872 ISBN: 0-933957-30-0 * figures 2,3,5-8 * * pages 2438-2439, section II "SAS Signal Processing Overview" * * page 2440, colonne de gauche, alinéa 2 * * pages 2440-2441, section IV " Navigation Details" *	1-15	
X	HUANG Y ET AL: "Synthetic aperture sonar movement stimation -the adaptive kalman filter approach" NEURAL NETWORKS AND SIGNAL PROCESSING, 2003. PROCEEDINGS OF THE 2003 INTERNATIONAL CONFERENCE ON NANJING, CHINA DEC. 14-17, 2003, PISCATAWAY, NJ, USA,IEEE, vol. 1, 14 décembre 2003 (2003-12-14), pages 830-833, XP010692969 ISBN: 0-7803-7702-8 * figure 1 * * page 830, section 1 "Introduction" * page 832, section 4 " Joint Inertial Navigation and DVL Towed Fish Orientation & Position Estimation"	1-15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
10 janvier 2007		Hekmat, Taymoor	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p>		<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 680841  
FR 0651762

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	<p>GRIFFITHS H D ET AL: "Interferometric synthetic aperture sonar for high-resolution 3-D mapping of the seabed" IEE PROCEEDINGS: RADAR, SONAR &amp; NAVIGATION, INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, GB, vol. 144, no. 2, 7 avril 1997 (1997-04-07), pages 96-103, XP006008904 ISSN: 1350-2395 * page 100, colonne de gauche, alinéa 2 * * page 100, colonne de droite, alinéa 2 *</p> <p>-----</p>	1-15	
A	<p>JALVING B ET AL: "A toolbox of aiding techniques for the HUGIN AUV integrated inertial navigation system" OCEANS 2003. MTS/IEEE PROCEEDINGS. CELEBRATING THE PAST, TEAMING TOWARD THE FUTURE. SAN DIEGO, CA, SEPT. 22 - 26, 2003, OCEANS MTS/IEEE CONFERENCE PROCEEDINGS, COLUMBIA, MD : MARINE TECHN. SOC, US, vol. VOL. 5 OF 5, 22 septembre 2003 (2003-09-22), pages 1146-1153, XP010694712 ISBN: 0-933957-30-0 * figure 1 * * pages 1146-1147, sections B.1 et B.2 * * page 1148, section C *</p> <p>-----</p>	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		10 janvier 2007	Hekmat, Taymoor
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>	
<p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p>			

1  
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)