



(12) **DEMANDE DE BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT APPLICATION**

(13) **A1**

(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2018/12/20
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2019/06/27
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2020/06/25
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2018/053448
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2019/122743
(30) Priorité/Priority: 2017/12/22 (FR1763137)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01S 7/524* (2006.01),
G01S 15/89 (2006.01), *G01S 15/96* (2006.01),
G01S 7/527 (2006.01)
(71) Demandeur/Applicant:
IXBLUE, FR
(72) Inventeurs/Inventors:
CORBIERES, CHRISTOPHE, FR;
RIOBLANC, MAXENCE, FR;
MATTE, GUILLAUME, FR;
MOSCA, FREDERIC, FR
(74) Agent: LAVERY, DE BILLY, LLP

(54) Titre : DRONE MARIN DE SURFACE ET PROCEDE DE CARACTERISATION D'UN MILIEU SUBAQUATIQUE MIS EN OEUVRE PAR UN TEL DRONE
(54) Title: MARINE SURFACE DRONE AND METHOD FOR CHARACTERISING AN UNDERWATER ENVIRONMENT IMPLEMENTED BY SUCH A DRONE

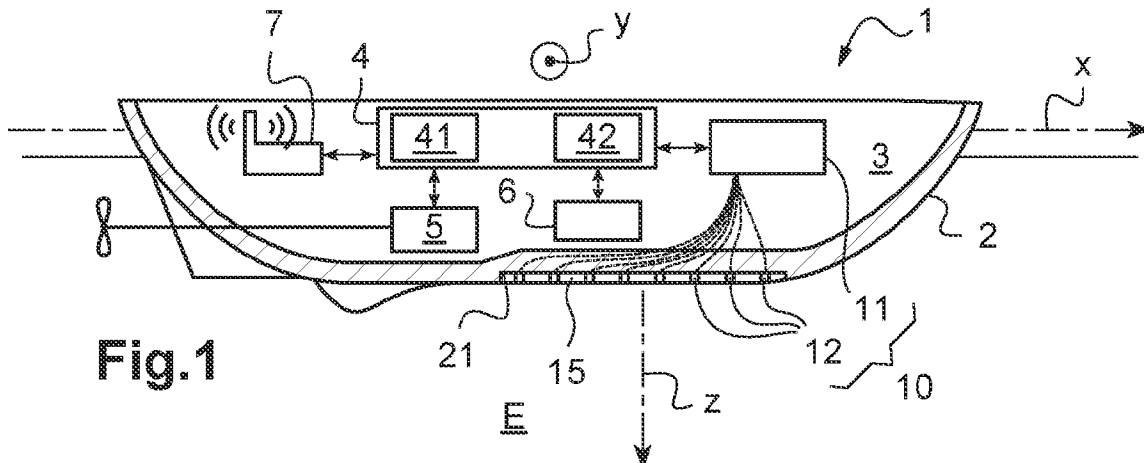


Fig.1

(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne un drone marin (1) de surface comprenant: -un sonar (10) embarqué du type multifaisceaux, -un système de pilotage (41) du sonar configuré pour commander, pour une position donnée du drone, une pluralité d'émissions successives d'ondes sonores, le système de pilotage pilotant les émetteurs (12) du sonar de manière à faire varier les caractéristiques des ondes sonores émises, de l'une desdites émissions à la suivante, et -une unité d'acquisition (42) configurée pour déterminer, à partir de signaux d'écho acquis en réponse à ladite pluralité d'émissions, une image tridimensionnelle représentative du contenu d'un volume d'observation donné. L'invention concerne également un procédé de caractérisation d'un milieu subaquatique mis en œuvre par un tel drone. Figure

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(10) Numéro de publication internationale
WO 2019/122743 A1(43) Date de la publication internationale
27 juin 2019 (27.06.2019)

(51) Classification internationale des brevets :

G01S 7/524 (2006.01) G01S 15/89 (2006.01)

G01S 7/527 (2006.01) G01S 15/96 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2018/053448

(22) Date de dépôt international :

20 décembre 2018 (20.12.2018)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1763137 22 décembre 2017 (22.12.2017) FR

(71) Déposant : **IXBLUE** [FR/FR] ; 34, rue de la Croix de Fer,
78100 Saint-Germain-en-Laye (FR).(72) Inventeurs : **CORBIERES, Christophe** ; c/o iXblue, 34
rue de la Croix de Fer, 78100 Saint-Germain-en-Laye (FR).
RIOBLANC, Maxence ; c/o iXblue, 34 rue de la Croixde Fer, 78100 Saint-Germain-en-Laye (FR). **MATTE, Guillaume** ; c/o iXblue, 34 rue de la Croix de Fer, 78100 Saint-Germain-en-Laye (FR). **MOSCA, Frédéric** ; c/o iXblue, 34 rue de la Croix de Fer, 78100 Saint-Germain-en-Laye (FR).(74) Mandataire : **CHAUVIN, Vincent** et al. ; JACOBACCI
CORALIS HARLE, 32 rue de l'Arcade, 75008 PARIS (FR).(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: MARINE SURFACE DRONE AND METHOD FOR CHARACTERISING AN UNDERWATER ENVIRONMENT IMPLEMENTED BY SUCH A DRONE

(54) Titre : DRONE MARIN DE SURFACE ET PROCÉDÉ DE CARACTÉRISATION D'UN MILIEU SUBAQUATIQUE MIS EN ŒUVRE PAR UN TEL DRONE

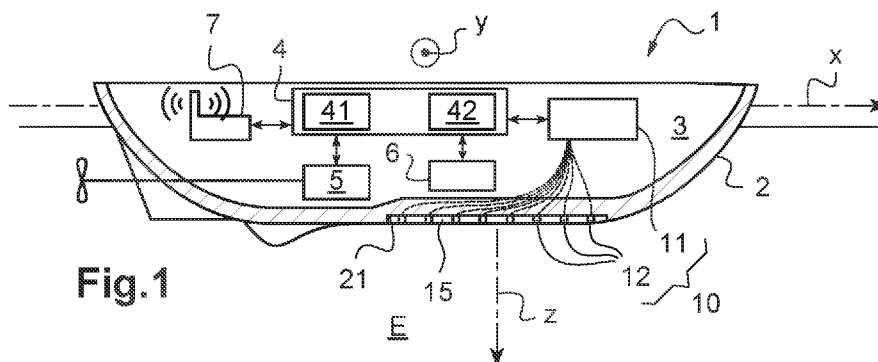


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a marine surface drone (1) comprising: - an on-board multi-beam sonar (10); - a system (41) for controlling the sonar, configured to command, for a given position of the drone, a plurality of consecutive emissions of acoustic waves, the control system controlling the sonar emitters (12) so as to vary the characteristics of the emitted acoustic waves, from one of said emissions to the next, and - an acquisition unit (42) configured to determine, from echo signals acquired in response to said plurality of emissions, a three-dimensional image representing the content of a given observation volume. The invention also relates to a method for characterising an underwater environment, implemented by such a drone. Figure

(57) Abrégé : L'invention concerne un drone marin (1) de surface comprenant: -un sonar (10) embarqué du type multifaisceaux, -un système de pilotage (41) du sonar configuré pour commander, pour une position donnée du drone, une pluralité d'émissions successives d'ondes sonores, le système de pilotage pilotant les émetteurs (12) du sonar de manière à faire varier les caractéristiques des ondes sonores émises, de l'une desdites émissions à la suivante, et -une unité d'acquisition (42) configurée pour déterminer, à partir de signaux d'écho acquis en réponse à ladite pluralité d'émissions, une image tridimensionnelle représentative du contenu d'un volume d'observation donné. L'invention concerne également un procédé de caractérisation d'un milieu subaquatique mis en œuvre par un tel drone. Figure

WO 2019/122743 A1 

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avec revendications modifiées (art. 19(1))

Drone marin de surface et procédé de caractérisation d'un milieu subaquatique
mis en œuvre par un tel drone

DOMAINE TECHNIQUE AUQUEL SE RAPPORTE L'INVENTION

5 La présente invention concerne de manière générale les bateaux sans équipage adaptés à se déplacer de manière autonome ou via un pilotage à distance.

Elle concerne également un procédé d'exploration d'un milieu subaquatique.

10 ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE

Les bateaux sans équipage adaptés à se déplacer de manière autonome ou via un pilotage à distance, appelés aussi « drones marins de surface », ou « drones bateaux », connaissent actuellement un fort développement.

15 Ces drones marins, également appelés «unmanned surface vehicle » en anglais (c'est-à-dire véhicules de surface sans équipage), sont en particulier utilisés à des fins militaires, pour éviter d'exposer la vie d'un pilote.

Ils sont également utilisés à des fins océanographiques, car, de par leur mobilité, ils permettent une caractérisation plus complète d'un environnement marin qu'une bouée d'observation fixe. En outre, réaliser une série d'observations
20 au moyen d'un tel drone est généralement moins coûteux que de recourir à un navire d'exploration classique, manœuvré par un équipage.

Pour pouvoir mesurer une profondeur d'une colonne d'eau située sous un tel drone marin de surface, ou pour détecter la présence de poissons dans cette colonne d'eau, il est connu de l'équiper avec un sonar de type mono-faisceau, c'est-à-dire à un seul émetteur, simple et léger. L'article « Fish findings
25 with autonomous surface vehicles for the pelagic fisheries », de R. Hauge et al. (Oceans 2016 MTS/IEEE Monterey, pages 1 à 5), par exemple, décrit un petit voilier autonome (sans équipage), équipé d'un unique émetteur, faiblement consommateur, disposé à l'extrémité inférieure d'une quille du voilier.

30 Il est connu aussi d'équiper un bateau sans équipage avec un sonar multifaisceaux (à plusieurs émetteurs et plusieurs récepteurs) permettant d'obtenir des données de profondeur pour toute une ligne de mesure perpendiculaire à l'axe longitudinal de la coque du bateau, et donc perpendiculaire à la direction de marche de ce bateau. Cela est toutefois nettement plus contraignant que

d'employer un sonar mono-faisceau car la forme de la coque doit alors être adaptée pour installer une « antenne » ultrasonore multifaisceaux, et car cela augmente nettement la consommation énergétique du bateau.

5 Un tel sonar multifaisceaux comprend classiquement un ensemble d'émetteurs sonores ou ultrasonores, répartis le long de l'axe longitudinal du bateau. Ces émetteurs émettent un ensemble d'ondes sonores (ou ultrasonores) suivant des directions d'émissions respectives coplanaires, contenue dans un plan d'émission perpendiculaire à l'axe longitudinal du bateau. Autrement formulé, ces ondes sonores sont émises de manière directive, formant ensemble une nappe (la
10 « fauchée ») qui s'étend sous le bateau, à l'aplomb de celui-ci. Ces directions d'émission couvrent un secteur angulaire donné, présentant généralement une ouverture de plusieurs dizaines de degrés. Les ondes sonores émises par le sonar atteignent différents points du fond marin, situés le long de la ligne de mesure précitée. Des récepteurs, adaptés à détecter des ondes sonores réfléchies par le
15 fond, permettent alors d'obtenir des données de profondeur pour différents points de cette ligne de mesure. Ces récepteurs sont disposés plus précisément le long d'une ligne perpendiculaire à l'axe longitudinal du bateau, ce qui permet, en combinant les signaux qu'ils reçoivent, de déterminer de quel point de la ligne de mesure provient une onde sonore rétro-réfléchie donnée.

20 Un tel sonar multifaisceaux classique permet, lorsque le bateau se déplace (en ligne droite), d'obtenir, ligne par ligne, une image bidimensionnelle représentative de la topographie du fond marin considéré.

OBJET DE L'INVENTION

25 Dans ce contexte, la présente invention propose un drone marin de surface comprenant un sonar embarqué, le sonar, du type multifaisceaux, comportant une pluralité d'émetteurs d'ondes sonores disposés le long d'un premier axe et une pluralité de récepteurs d'ondes sonores disposés le long d'un deuxième axe qui n'est pas parallèle au premier axe.

Selon l'invention, le drone marin comprend en outre :

30 - un système de pilotage du sonar configuré pour commander, pour une position donnée du drone marin, une pluralité d'émissions successives d'ondes sonores,

le système de pilotage pilotant les différents émetteurs, à chaque émission, par une pluralité respective de signaux d'émission, chaque signal

d'émission présentant une amplitude et un décalage temporel par rapport à un signal de référence,

le système de pilotage faisant varier les amplitudes ou les décalages temporels respectifs desdits signaux d'émission, au cours de ladite pluralité
5 d'émissions, conformément à une séquence de variation d'émission prédéterminée, l'ensemble des ondes sonores émises au cours de ladite pluralité d'émissions couvrant un volume d'observation donné, et

- une unité d'acquisition configurée pour :

- acquérir, pour chacune desdites émissions, des signaux d'écho
10 captés par les récepteurs du sonar en réponse à l'émission considérée, et pour
- déterminer, à partir des signaux d'écho acquis en réponse à ladite pluralité d'émissions, une image tridimensionnelle représentative du contenu du volume d'observation.

A la différence d'un sonar multifaisceaux classique tel que présenté en
15 préambule, avec le sonar multifaisceaux équipant le drone selon l'invention, il est possible d'obtenir une image tridimensionnelle représentative du contenu du volume d'observation, depuis une position donnée du drone, sans nécessiter pour cela qu'il ne se déplace.

Actuellement, les sonars multifaisceaux permettant de déterminer une
20 image tridimensionnelle d'un environnement subaquatique depuis une position fixe sont, du fait de leur niveau de perfectionnement élevé, encombrants, lourds, consommateurs d'énergie, et parfois couteux. Ces caractéristiques les destinent ainsi aux navires d'exploration ou de pêche de fort tonnage.

Le fait qu'un drone marin de surface soit généralement de petite taille,
25 mais, en revanche, particulièrement mobile, incite donc à l'équiper d'un sonar mono-faisceau, ou d'un sonar multifaisceaux classique adapté seulement à relever des données de profondeur le long d'une ligne de mesure, une image de l'environnement subaquatique considéré étant alors obtenue par déplacement du drone, comme expliqué en préambule.

30 Pourtant, la demanderesse propose d'équiper un tel drone marin avec le sonar multifaisceaux précité, configuré pour relever, depuis une position fixe du drone, une image tridimensionnelle de son environnement subaquatique.

La réalisation de ce drone marin est difficile techniquement, pour les raisons mentionnées plus haut. Mais, en contrepartie, ce drone s'avère

particulièrement utile pour surveiller et caractériser un environnement subaquatique. En effet, il permet de réaliser une telle caractérisation :

- de manière discrète, grâce à la petite taille du drone et à sa capacité d'imagerie sonar tridimensionnelle sans déplacement,

5 - et ce depuis une position d'observation de cet environnement optimale.

En particulier, le drone marin de surface selon l'invention permet de détecter, surveiller et caractériser un banc de poissons, sans le perturber, depuis une position optimale, située par exemple au centre de ce banc de poissons. C'est en effet généralement au centre d'un tel banc que le type de poissons rencontrés, leur concentration et leur comportement sont les plus représentatifs de l'ensemble du banc.

L'invention trouve ainsi une application particulièrement intéressante dans le cadre d'une étude océanographique comme la détermination de propriétés morphologiques et dynamiques du banc observé, ou pour un repérage préliminaire à une opération de pêche.

D'autres caractéristiques non limitatives et avantageuses du drone marin de surface conforme à l'invention, prises séparément ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles, sont les suivantes :

- le sonar est configuré pour qu'un rapport d'aspect du volume d'observation, égal à la dimension la plus petite du volume d'observation divisée par la dimension la plus grande du volume d'observation, soit supérieur à 0,2 ;

- la dimension externe la plus grande du drone marin est inférieure à 2 mètres ;

- les émetteurs et récepteurs du sonar sont intégrés à la coque du drone marin de surface ;

- le sonar comprend une unité de commande électronique des émetteurs et des récepteurs logée dans la cale du drone marin de surface ;

- le système de pilotage est adapté en outre pour, préalablement à ladite pluralité d'émissions d'ondes sonores, commander un déplacement du drone marin de surface jusqu'à ladite position donnée ;

- le système de pilotage est adapté en outre pour :

- détecter un banc de poissons par traitement de ladite image tridimensionnelle,

- commander un déplacement du drone marin de surface jusqu'à une

autre position, située au droit du banc de poissons, et pour ensuite

5 - commander à nouveau ladite pluralité d'émissions successives d'ondes sonores, le drone marin étant situé à ladite autre position, l'unité d'acquisition acquérant, pour chacune desdites émissions, les signaux d'écho captés par les récepteurs du sonar en réponse à l'émission considérée, et déterminant, à partir des signaux d'écho acquis en réponse à ladite pluralité d'émissions, une autre image tridimensionnelle représentative du contenu du volume d'observation ;

10 - le système de pilotage est adapté en outre pour déterminer une donnée représentative dudit banc de poissons, autre qu'une position d'un centre du banc de poissons, en fonction de ladite autre image tridimensionnelle ;

- le système de pilotage est adapté en outre pour localiser, en fonction de ladite image tridimensionnelle, un centre du banc de poissons ;

- ladite autre position est située au droit du centre du banc de poissons ;

15 - les décalages temporels respectifs desdits signaux d'émission, variant conformément à ladite séquence d'émissions, sont tels que :

- pour chacune desdites émissions d'ondes sonores, la puissance sonore émise soit concentrée, par interférence entre les ondes sonores émises, dans un plan d'émission,

20 - entre chacune desdites émissions et l'émission suivante, le plan d'émission pivote autour d'un axe de balayage,

- au cours de ladite pluralité d'émissions d'ondes sonores, le plan d'émission balaye, du fait desdits pivotements, l'ensemble du volume d'observation ;

25 - les émetteurs du sonar sont au nombre de N.

On peut prévoir alors que ladite pluralité d'émissions d'ondes sonores est associée, dans une mémoire du système de pilotage, à une pluralité respective de lignes d'une matrice de rang N, et pour chacune desdites émissions d'ondes sonores, les amplitudes respectives desdits signaux d'émission sont proportionnelles aux coefficients de la ligne de la matrice de de rang N associée à l'émission considérée.

30

Cette disposition permet généralement de relever une image tridimensionnelle du contenu du volume d'observation avec une cadence plus élevée (c'est-à-dire en un temps plus court) que par balayage d'un plan

d'émission.

La base d'émission, c'est-à-dire la matrice de rang N considérée, peut correspondre notamment à

- une matrice de Hadamard de rang N, ou à
- 5 - une matrice diagonale de rang N.

On peut prévoir aussi que le premier axe et le deuxième axe soient séparés par un angle compris entre 60 degrés et 90 degrés, que

- les émetteurs soient répartis, le long du premier axe, sur au moins 20 centimètres de long, voire sur au moins 50 centimètres de long, et que
- 10 - les récepteurs soient répartis, le long du deuxième axe, sur au moins 20 centimètres de long, voire sur au moins 50 centimètres de long.

L'invention prévoit également un procédé de caractérisation d'un environnement subaquatique mis en œuvre par un drone marin de surface comprenant un sonar embarqué, le sonar, du type multifaisceaux, comportant une pluralité d'émetteurs d'ondes sonores disposés le long d'un premier axe et une pluralité de récepteurs d'ondes sonores disposés le long d'un deuxième axe qui n'est pas parallèle au premier axe.

Selon l'invention, au cours du procédé :

- un système de pilotage du sonar commande, pour une position donnée
- 20 du drone marin, une pluralité d'émissions successives d'ondes sonores,

le système de pilotage pilotant les différents émetteurs, à chaque émission, par une pluralité respective de signaux d'émission, chaque signal présentant une amplitude et un décalage temporel par rapport à un signal de référence,

25 le système de pilotage faisant varier les amplitudes ou les décalages temporels respectifs desdits signaux d'émission, au cours de ladite pluralité d'émissions, conformément à une séquence de variation d'émission prédéterminée, l'ensemble des ondes sonores émises au cours de ladite pluralité d'émissions couvrant un volume d'observation donné,

- 30 - une unité d'acquisition acquiert, pour chacune desdites émissions, des signaux d'écho captés par les récepteurs du sonar en réponse à l'émission considérée, et

- l'unité d'acquisition détermine, à partir des signaux d'écho acquis en réponse à ladite pluralité d'émissions, une image tridimensionnelle représentative

du contenu du volume d'observation.

D'autres caractéristiques non limitatives et avantageuses de ce procédé sont les suivantes :

- 5 - un rapport d'aspect du volume d'observation, égal à la dimension la plus petite du volume d'observation divisée par la dimension la plus grande du volume d'observation, est supérieur à 0,2 ;
- au cours du procédé, le système de pilotage commande en outre, préalablement à ladite pluralité d'émissions d'ondes sonores, un déplacement du drone marin de surface jusqu'à ladite position donnée ;
- 10 - au cours du procédé, le système de pilotage :
 - détecte un banc de poissons par traitement de ladite image tridimensionnelle,
 - commande un déplacement du drone marin de surface jusqu'à une autre position située au droit du banc de poissons, et ensuite,
 - 15 - commande à nouveau ladite pluralité d'émissions successives d'ondes sonores, le drone marin étant situé à ladite autre position, l'unité d'acquisition acquérant, pour chacune desdites émissions, les signaux d'écho captés par les récepteurs du sonar en réponse à l'émission considérée, et déterminant, à partir des signaux d'écho acquis en réponse à ladite pluralité d'émissions, une autre
 - 20 image tridimensionnelle représentative du contenu du volume d'observation ;
 - le procédé comprend en outre une étape de détermination d'une donnée représentative dudit banc de poissons, autre qu'une position d'un centre du banc de poissons, en fonction de ladite autre image tridimensionnelle ;
 - au cours du procédé, le système de pilotage localise, en fonction de
 - 25 ladite image tridimensionnelle, le centre du banc de poissons ;
 - ladite autre position est située au droit du centre du banc de poissons ;
 - l'unité de pilotage détermine, en fonction de ladite image tridimensionnelle, les positions respectives d'une pluralité de points situés sur le pourtour du banc de poissons, et détermine une position du centre du banc de
 - 30 poissons en fonction des positions de ces points ;
 - la séquence des étapes de :
 - commande de ladite pluralité d'émissions successives d'ondes sonores, et, pour chacune desdites émissions, acquisition des signaux d'écho captés par les récepteurs du sonar en réponse à l'émission considérée, puis

détermination, à partir des signaux d'écho acquis en réponse à ladite pluralité d'émissions, d'une image tridimensionnelle représentative du contenu du volume d'observation,

- localisation du centre du banc de poissons, et
- 5 - en cas de décalage du drone marin par rapport au centre du banc de poissons, déplacement du drone marin jusqu'au droit du centre du banc de poissons,

est exécutée plusieurs fois successivement ;

- les décalages temporels respectifs desdits signaux d'émission, variant
- 10 conformément à ladite séquence d'émissions, sont tels que :

- pour chacune desdites émissions d'ondes sonores, la puissance sonore émise est concentrée, par interférence entre les ondes sonores émises, dans un plan d'émission,

- entre chacune desdites émissions et l'émission suivante, le plan
- 15 d'émission pivote autour d'un axe de balayage,

- au cours de ladite pluralité d'émissions d'ondes sonores, le plan d'émission balaye, du fait desdits pivotements, l'ensemble du volume d'observation.

On peut prévoir aussi que, les émetteurs du sonar étant au nombre de N , et ladite pluralité d'émissions d'ondes sonores étant associée, dans une mémoire

20 du système de pilotage, à une pluralité respective de lignes d'une matrice de rang N , pour chacune desdites émissions d'ondes sonores, les amplitudes respectives desdits signaux d'émission sont proportionnelles aux coefficients de la ligne de la matrice de rang N associée à l'émission considérée.

25 Ce mode d'émission est notamment mis en œuvre pour relever une image tridimensionnelle du contenu du volume d'observation en un temps plus court que par balayage d'un plan d'émission.

La base d'émission, c'est-à-dire la matrice de rang N considérée, peut correspondre notamment à une matrice de Hadamard de rang N . En variante, elle

30 pourrait correspondre à une matrice diagonale de rang N ou à tout autre type de matrice de rang N , plutôt qu'à une matrice de Hadamard de rang N .

DESCRIPTION DETAILLEE D'UN EXEMPLE DE REALISATION

La description qui va suivre en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs, fera bien comprendre en quoi consiste l'invention et

comment elle peut être réalisée.

Sur les dessins annexés :

- la figure 1 représente schématiquement, vu de côté, un drone marin de surface mettant en œuvre les enseignements de l'invention,

5 - la figure 2 représente schématiquement le drone marin de surface de la figure 1, vu de dessous,

- la figure 3 représente schématiquement des caractéristiques d'un premier mode de fonctionnement d'un sonar du drone marin de la figure 1 ;

10 - les figures 4, 5 et 6 représentent schématiquement un ensemble d'ondes sonores émises, selon ce premier mode de fonctionnement, par le sonar du drone marin de la figure 1, vu respectivement de l'avant (de face), de côté, et de dessus,

15 - les figure 7 à 9 représentent schématiquement trois émissions successives d'ondes sonores réalisées conformément à un autre mode de fonctionnement d'un sonar du drone marin de la figure 1 ;

- la figure 10 représente schématiquement les principales étapes d'un procédé de caractérisation d'un environnement subaquatique, mis en œuvre par le drone marin de la figure 1,

20 - la figure 11 représente schématiquement, vu de dessus, un banc de poissons détecté par le drone marin au cours du procédé de la figure 10,

- la figure 12 représente schématiquement, vu de dessus, des positions occupées successivement par le drone marin au cours du procédé de la figure 10, et

25 - la figure 13 représente schématiquement, vu de dessus, un banc de poissons situé partiellement dans le volume d'observation du drone marin de surface.

La figure 1 représente schématiquement les principaux éléments d'un drone marin 1 de surface muni d'un sonar 10 multifaisceaux perfectionné, qui, de manière remarquable, est apte à sonder l'environnement subaquatique E du drone de manière tridimensionnelle, sans que le drone n'ait à se déplacer pour cela.

Le drone marin 1 comprend une coque 2, ici de forme allongée selon un axe longitudinal x (dirigé de la poupe vers la proue du drone marin 1).

Lorsque le drone marin se déplace en ligne droite, sa direction de marche coïncide avec cet axe longitudinal x, effets de dérive mis à part.

Comme le drone marin 1 est sans équipage, il peut être de petite taille. Sa dimension externe la plus grande, qui correspond ici à la longueur totale L de sa coque 2, est ainsi inférieure à 2 mètres. Ici, elle est plus précisément comprise en 0,6 mètre et 1,5 mètre.

5 Du fait de ses dimensions réduites, le drone marin est particulièrement discret. Il permet donc avantageusement de surveiller et/ou caractériser un milieu subaquatique sans le perturber. Sa petite taille le rend en outre très maniable, apte à suivre les déplacements d'espèces subaquatiques.

10 Le sonar 10 du drone marin, dont les caractéristiques de fonctionnement seront décrites plus loin, comprend une pluralité de transducteurs 12, et une unité de commande 11 électronique de ces transducteurs 12.

15 Les transducteurs 12 sont adaptés à émettre des ondes sonores dans le milieu subaquatique environnant le drone marin 1 et à recevoir des ondes sonores réfléchies provenant de ce milieu. Chacun de ces transducteurs (12) est donc adapté ici à fonctionner aussi bien en tant qu'émetteur qu'en tant que récepteur. L'expression « ondes sonores » désigne des ondes acoustiques de fréquences quelconques, qu'elles soient situées dans le domaine audible ou dans le domaine des ultrasons.

20 Leur unité de commande 11 peut comprendre des convertisseurs numérique-analogique (pour les transducteurs fonctionnant en émission) et analogique-numérique (pour les transducteurs fonctionnant en réception), ainsi que des amplificateurs et filtres électroniques adaptés pour mettre en forme des signaux d'émission à émettre, ou des signaux d'écho captés par ces transducteurs.

25 Les transducteurs 12 sont disposés en croix (figure 2) :

- certains transducteurs sont disposés les uns à la suite des autres le long d'une première branche 13 de la croix, tandis que
- les autres transducteurs sont disposés les uns à la suite des autres le long d'une deuxième branche 14 de la croix, perpendiculaire à sa première
30 branche 13 (disposition dite en « croix de Mills »).

La première branche 13 de la croix est ici parallèle à l'axe longitudinal x du drone marin 1, tandis que sa deuxième branche 14 est parallèle à un axe transversal y au drone. Cet axe transversal y, perpendiculaire à l'axe longitudinal x, est parallèle au pont du drone marin.

Les première et deuxième branches 13, 14 s'étendent préférentiellement sur plus de 20 centimètres, ici sur plus de 50 centimètres, pour que le sonar dispose d'une résolution angulaire élevée.

Habituellement, les transducteurs d'un sonar multifaisceaux et leur unité de commande sont logés dans une coque de protection du sonar, destinée à être immergée, cette coque de protection étant par exemple trainée derrière un navire ou logée contre la coque du navire.

Ici, au contraire, les transducteurs 12 sont intégrés à la coque 2 du drone marin 1, tandis leur unité de commande 11 est logée dans la cale 3 du drone, isolée du milieu marin (c'est-à-dire dans le volume intérieur du drone délimité par sa coque 2). Autrement formulé, la coque 2 du drone marin remplit le rôle de carter de protection du sonar.

Cette disposition permet de s'affranchir d'une coque de protection spécifique au sonar, ce qui allège considérablement le drone marin. Une flottabilité suffisante du drone marin peut ainsi être atteinte, bien que le drone soit équipé du sonar multifaisceaux précité, intrinsèquement complexe et lourd.

Dans l'exemple de réalisation décrit ici, les transducteurs 12 sont maintenus ensemble par une pièce de support 15 elle-même insérée dans un logement 21 peu profond ménagé dans la coque 2. Cette pièce de support 15 facilite la manipulation des transducteurs 12, et leur intégration à la coque 2 du drone marin. Elle permet aussi de tester de manière commode le fonctionnement de l'antenne du sonar, qui est constituée par l'ensemble de ces transducteurs 12, préalablement à l'intégration de cette antenne à la coque 2 du drone marin 1.

Les transducteurs 12 sont connectés électriquement à leur unité de commande 11.

Le drone marin 1 comprend aussi :

- des moyens de propulsion 5, tels qu'un moteur entraînant une hélice immergée,
- un capteur inertiel 6 comportant notamment un gyromètre,
- un module de communication 7 adapté à échanger des données par une liaison sans fil, tel qu'un module d'émission et de réception d'ondes radio, et
- une unité électronique de navigation 4, adaptée à piloter le sonar 10, les moyens de propulsion 5, et le module de communication 7.

L'unité électronique de navigation 4 comprend notamment un système

de pilotage 41 du sonar, et une unité d'acquisition 42 des données issues du sonar. L'unité électronique de navigation 4 est réalisée au moyen d'un ou plusieurs processeurs et d'au moins une mémoire. Elle est logée dans la cale 3 du drone marin.

5 De manière remarquable, le système de pilotage 41 du sonar 10 est configuré pour commander, pour une position P1, P2, P3 donnée du drone marin 1 (figure 12), une pluralité d'émissions successives d'ondes sonores,

le système de pilotage 41 pilotant les différents émetteurs 12, à chaque émission, par une pluralité respective de signaux d'émission S1, S2, S3, 10 S4, ... chaque signal d'émission présentant une amplitude A1, A2, A3, A4, ... et un décalage temporel Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 , Δt_4 , ... par rapport à un signal de référence Sref (figures 3 et 7),

le système de pilotage 41 faisant varier les amplitudes A1, A2, A3, A4, ... ou les décalages temporels Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 , Δt_4 , ... respectifs desdits signaux 15 d'émission S1, S2, S3, S4, au cours de ladite pluralité d'émissions, conformément à une séquence de variation d'émission prédéterminée, l'ensemble des ondes sonores émises au cours de ladite pluralité d'émissions couvrant un volume d'observation V donné.

L'unité d'acquisition 42 est configurée quant à elle pour :

20 - acquérir, pour chacune desdites émissions, des signaux d'écho captés par les récepteurs 12 du sonar 10 en réponse à l'émission considérée, et pour

- déterminer, à partir des signaux d'écho acquis en réponse à ladite pluralité d'émissions, une image tridimensionnelle représentative du contenu du 25 volume d'observation V.

Commander cette pluralité d'émissions successives, les caractéristiques des ondes sonores émises variant de l'une de ces émissions à la suivante, permet avantageusement de déterminer cette image tridimensionnelle, sans que le drone marin 10 n'ait à se déplacer pour cela.

30 Plusieurs modes de fonctionnement du sonar, caractérisés chacun par une séquence de variation d'émission qui lui est propre, sont envisageables.

Un premier mode de fonctionnement du sonar 10 est décrit maintenant, en référence, aux figures 3 à 6.

Dans ce premier mode de fonctionnement, les décalages temporels Δt_1 ,

$\Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_4, \dots$ respectifs des signaux d'émission S1, S2, S3, S4, ... pilotant les émetteurs 12 sont tels que, pour chacune desdites émissions d'ondes sonores, la puissance sonore émise est concentrée, par interférence entre les ondes sonores émises, dans un plan d'émission P.

5 A chaque émission, la puissance émise est donc émise de manière directive, les ondes sonores émises formant ensemble une nappe d'ondes sonores, ou « fauchée », peu épaisse (ici peu épaisse selon l'axe transversal y, comme illustré par les figures 4 et 5).

Au cours de la séquence d'émissions successives, qui permet de relever
10 l'image tridimensionnelle précitée, les décalages temporels $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_4, \dots$ respectifs desdits signaux d'émission varient de manière à ce que le plan d'émission P pivote autour d'un axe de balayage, de l'une des émissions d'ondes sonores à la suivante.

Au cours de cette séquence d'émissions, du fait de ces pivotements, le
15 plan d'émission P balaye l'ensemble du volume d'observation V.

Les caractéristiques de ce premier mode fonctionnement sont décrites tout d'abord pour l'une desdites émissions. Le balayage du plan d'émission P, qui permet de relever l'image tridimensionnelle précitée, est décrit ensuite.

L'émission d'ondes sonores est réalisée par la deuxième branche 14 de
20 transducteurs 12, qui s'étend transversalement par rapport au drone marin 1.

Pour chaque émission d'ondes sonores, les signaux d'émissions S1, S2, S3, S4, ... sont produits à partir d'un même signal de référence Sref, auquel sont appliqués des décalages temporels $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_4, \dots$ respectifs.

Ces décalages temporels $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_4, \dots$ sont proportionnels aux
25 positions respectives des émetteurs 12, le long de l'axe transversal y. Le plan d'émission P, dans lequel les ondes sonores émises interfèrent constructivement, s'étend alors longitudinalement par rapport au drone marin.

Lorsque ces décalages temporels $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_4, \dots$ présentent tous la même valeur (par exemple une valeur nulle), les ondes sonores sont émises en
30 phase et interfèrent constructivement dans le plan (x,z) qui s'étend sous le drone marin 1, à l'aplomb de celui-ci. Autrement formulé, le plan d'émission P correspond alors au plan (x,z).

En revanche, lorsque ces décalages temporels $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_4, \dots$ présentent des valeurs distinctes, certaines des ondes sonores sont émises en

avance, par rapport aux autres ondes sonores, si bien que le plan d'émission P dans lequel ces ondes sonores interfèrent constructivement est alors décalé angulairement par rapport au plan (x,z), comme représenté schématiquement sur les figures 3 et 4. L'angle l'inclinaison β du plan d'émission P du sonar, formé entre
5 ce plan et l'axe vertical z (axe vertical descendant) est ainsi fixé par les valeurs des décalages temporels $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_4, \dots$.

L'onde sonore globale, formée par l'ensemble des ondes sonores émises (c'est-à-dire par la somme de ces ondes), se propage dans le plan d'émission P en couvrant un secteur angulaire S de ce plan dont l'ouverture angulaire α est
10 supérieure à 60 degrés, et peut par exemple atteindre 120 degrés (figure 5).

Dans ce premier mode de fonctionnement, les transducteurs 12 de la deuxième branche 13, parallèle à l'axe longitudinal x, fonctionnent en réception. Ils permettent de capter des ondes sonores réfléchies, à la manière d'un écho, par des éléments de l'environnement subaquatique E atteints par la nappe d'ondes
15 sonores précitée.

Un instant de réception de cette onde sonore réfléchie indique la distance entre l'élément réfléchissant et le sonar. Par ailleurs, sur la base des signaux d'écho reçus respectivement par les multiples transducteurs 12 de la première branche 13, l'unité d'acquisition 42 (ou, en variante, l'unité de commande
20 du sonar, ou encore le système de pilotage) détermine de quelle direction, à l'intérieur du secteur angulaire S, provient une telle onde sonore réfléchie. Cette direction, combinée à la distance séparant l'élément réfléchissant et le sonar, permet de déterminer complètement la position de l'élément réfléchissant dans le plan d'émission P.

L'ensemble des signaux d'échos captés ainsi par les récepteurs 12, en réponse à l'émission des ondes sonores décrite plus haut, permet donc d'obtenir une image bidimensionnelle, représentative du contenu de l'environnement subaquatique E du drone dans le plan d'émission P. Ces signaux d'échos sont
25 acquis, par l'unité d'acquisition, pendant un intervalle temporel qui s'étend entre l'émission d'ondes sonores considérée, et l'émission d'ondes sonores suivante.

La résolution angulaire du sonar est fixée, perpendiculairement au plan d'émission P, par l'ouverture angulaire θ_1 de la nappe d'ondes sonores émise. Comme déjà indiqué, cette nappe est peu épaisse (l'émission est directive, du fait de l'extension, le long de l'axe transversal y, de la deuxième branche 14 de

transducteurs 12) : son ouverture angulaire est, en pratique, comprise entre 0,5 et 5 degrés.

La résolution angulaire du sonar dans le plan d'émission P, θ_2 , (directivité du sonar en termes de réception) est comprise également entre 0,5 et 5 degrés.

Le sonar sonde donc, individuellement, le contenu de différentes zones élémentaires ZO approximativement coniques (figure 6), appelées aussi « faisceaux », chacune d'ouvertures angulaires θ_1 et θ_2 (respectivement perpendiculairement, et parallèlement au plan d'émission), réparties dans le secteur angulaire S d'émission du sonar.

Un élément de l'environnement subaquatique E présent dans l'une de ces zones élémentaires peut ainsi être détecté et localisé par rapport au drone marin. Une donnée liée à une surface équivalente de rétrodiffusion de l'élément détecté (généralement appelée « scattering cross-section » en anglais) est aussi déterminée par l'unité de commande 11 du sonar, sur la base notamment de la puissance de l'onde sonore rétro-réfléchi par cet élément. Cette donnée peut être représentative d'une intensité de rétrodiffusion volumique (« volume backscattering strength » en anglais) associée à cet élément, et/ou d'une intensité de rétrodiffusion, ponctuelle, de cet élément (« target strength » en anglais).

Le nombre de faisceaux distincts dont le contenu est ainsi sondé est supérieur à 20. Dans le mode de réalisation considéré, il est plus précisément égal à 64.

L'élément détecté peut correspondre notamment à un ou plusieurs poissons, ou à une parcelle du fond marin située sous le drone.

Le balayage du plan d'émission P, qui permet de passer d'une imagerie bidimensionnelle telle que décrite ci-dessus, à une imagerie tridimensionnelle, peut maintenant être décrit.

Comme déjà indiqué, ce balayage est obtenu par une rotation du plan d'émission P du sonar par rapport à l'axe de balayage. Cet axe de balayage est ici parallèle au pont du drone marin 1. L'axe de balayage est donc horizontal, tout au moins en l'absence de vagues, lorsque le drone est immobile.

Dans ce premier mode de fonctionnement, l'axe de balayage coïncide plus précisément avec l'axe longitudinal x du drone marin 1.

De l'une des émissions d'ondes sonores à la suivante, pour faire pivoter

le plan d'émission P autour de cet axe de balayage, le système de pilotage 41 fait varier les décalages temporels $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_4, \dots$ respectifs des différents signaux d'émission S1, S2, S3, S4, ... par rapport au signal de référence Sref.

5 Au cours de la séquence d'émissions d'ondes sonores, qui permet de relever l'image tridimensionnelle mentionnée plus haut, le système de pilotage 41 fait ainsi varier, l'angle l'inclinaison β du plan d'émission P entre deux angles d'inclinaison limite $+\beta_{\max}$ et $-\beta_{\max}$. En pratique, l'amplitude angulaire $2\beta_{\max}$ de ce balayage peut être supérieure à 60 degrés. Ici, elle peut atteindre 120 degrés.

10 L'image tridimensionnelle déterminée par l'unité d'acquisition 42, sur la base des signaux d'écho acquis en réponse à cette séquence émissions d'ondes sonores est représentative du contenu de chacune des zones élémentaires ZO du volume d'observation V ainsi balayé. Cette image rassemble en particulier des informations relatives aux positions (dans un repère à trois dimensions, tel que le repère (x,y,z) par exemple) et surfaces équivalentes de rétrodiffusion des
15 éléments contenus dans ce volume d'observation V.

Grâce à sa petite taille et à sa capacité d'imagerie sonar tridimensionnelle sans déplacement, le drone marin 1 permet de surveiller et caractériser un milieu subaquatique de manière discrète, sans le perturber, et ce depuis une position d'observation optimale.

20 En outre, moyennant une optimisation de la consommation énergétique du sonar, cette image tridimensionnelle peut en pratique être obtenue pour une consommation énergétique inférieure à celle nécessaire pour acquérir une telle image par déplacement (à la surface de l'eau) d'un drone muni d'un sonar multifaisceaux classique sans capacité de balayage.

25 L'ouverture α du secteur angulaire S d'émission du sonar, et l'amplitude $2\beta_{\max}$ du balayage, toutes deux particulièrement grandes, permettent, même à une faible profondeur sous le drone, de sonder une région très étendue horizontalement, ce qui est très utile pour la détection et l'observation d'espèces aquatiques évoluant dans une colonne d'eau s'étendant sous le drone marin.

30 Vue la forme de la nappe d'ondes sonore émise par le sonar 10, le volume d'observation V présente ici une forme globalement pyramidale (chacun des côtés de la base de cette pyramide étant soit rectiligne, soit formé d'un arc d'hyperbole), avec, à son sommet, le sonar 10. Ce volume est limité verticalement par le fond marin, ou si le milieu aquatique est très profond, par la portée du sonar

(supérieure ici à 500 mètres).

Compte tenu des valeurs pouvant être présentées par l'ouverture α du secteur angulaire S d'émission, et par l'amplitude $2\beta_{\max}$ du balayage, le rapport d'aspect du volume d'observation V , égal à sa dimension la plus petite (par exemple, sa hauteur), divisée par sa dimension la plus grande (par exemple sa longueur), peut ici être supérieur à 0,2. Dans un plan horizontal, le rapport entre la largeur et la longueur du volume d'observation (dimensions de ce volume, respectivement selon l'axe transversal y , et selon l'axe longitudinal x) peut quant à lui être supérieur à 0,5. Le volume d'observation présente alors une extension comparable dans toutes les directions du plan horizontal, sans privilégier arbitrairement une direction d'observation donnée.

Les zones élémentaires ZO du volume d'observation V mentionnées ci-dessus correspondent à des zones approximativement coniques, tels que définies précédemment, décalées angulairement les unes par rapport aux autres autour de l'axe transversal y , et aussi, grâce au balayage précité, autour de l'axe longitudinal x .

Lorsque l'angle d'inclinaison β du plan d'émission P est proche de l'un des angles d'inclinaison limite $\pm\beta_{\max}$, l'empreinte sur le fond marin de la nappe formée par l'ensemble des ondes sonores émises peut être légèrement incurvée, de forme hyperbolique, au lieu d'être rectiligne. Le plan d'émission P du sonar correspond alors au plan moyen défini par cette nappe d'ondes sonores (qui se propage le long d'une surface légèrement incurvée au lieu d'être plane, dont l'intersection avec le fond marin est l'empreinte hyperbolique mentionnée ci-dessus).

Le balayage de l'angle d'inclinaison β peut être réalisé très finement : cet angle peut par exemple prendre successivement jusqu'à 64 valeurs différentes réparties entre les angles d'inclinaisons limite $\pm\beta_{\max}$; 64 émissions successives d'ondes sonores sont alors nécessaires pour obtenir une image tridimensionnelle du volume d'observation V .

Cependant, la durée nécessaire pour obtenir une telle image augmente avec le nombre d'émissions effectuées pour obtenir cette image. En effet, deux émissions d'une telle séquence doivent être séparées par une durée minimale, correspondant approximativement à la durée de propagation aller et retour d'une onde sonore sur toute la hauteur du volume d'observation.

Pour réduire la durée nécessaire pour obtenir une telle image, le système de pilotage 41 peut donc être programmé pour commander un balayage plus sommaire du volume d'observation V, dans lequel l'angle d'inclinaison β présente successivement au plus 10 valeurs différentes (et au minimum 2) réparties entre les angles d'inclinaisons limite $\pm\beta_{\max}$. L'image du volume d'observation V obtenue ainsi est moins détaillée (elle est néanmoins suffisante pour certaines applications, par exemple pour une première localisation d'un banc de poissons). En contrepartie, ce fonctionnement simplifié permet de réduire la consommation électrique du sonar 10 et d'améliorer ainsi l'autonomie du drone marin 1.

Le système de pilotage 41 est configuré par ailleurs pour, en cas de détection d'un élément situé à faible profondeur sous le drone marin 1, piloter une focalisation, sur cet élément, des ondes sonores émises par les transducteurs.

Cette focalisation permet notamment de compenser différents effets parasites (causés par de la diffraction de Fresnel par exemple) qui, dans la zone dite de champ proche située immédiatement sous le drone marin 1 (cette zone s'étend ici sur une dizaine de mètres sous le drone), pourraient perturber le fonctionnement du sonar 10. Cette focalisation permet notamment de conserver un caractère fiable et calibré aux mesures précitées d'intensité de rétrodiffusion, même à faible profondeur, à partir de 1 mètre sous le drone marin 1. Le drone marin 1, qui est adapté de par sa petite taille à approcher des espèces évoluant à faible profondeur, sans les perturber, permet donc ensuite une observation et caractérisation précise de telles espèces.

La focalisation précitée peut par exemple être réalisée au moyen d'un module de focalisation (non représenté) de l'unité de commande 11 introduisant, entre les signaux transmis respectivement aux différents transducteurs 12 et/ou reçus de ceux-ci, des retards respectifs (variant quadratiquement en fonction de la position du transducteur considéré), appropriés pour focaliser les ondes sonores émises sur l'élément détecté, ou pour compenser des déphasages entre les différents signaux reçus causés par la proximité de cet élément.

Par ailleurs, l'unité d'acquisition 42 (ou, en variante, l'unité de commande 11) est configurée pour, grâce au capteur inertiel 6, détecter des mouvements parasites du drone marin 1, par exemple des mouvements de roulis ou de tangage, et traiter les données acquises pour compenser l'influence de tels

mouvements sur l'image tridimensionnelle obtenue.

Le sonar 10 est configuré par ailleurs pour fonctionner selon d'autres modes de fonctionnement que le premier mode de fonctionnement qui vient d'être décrit. Cette souplesse d'utilisation est permise notamment par le fait que ses
5 transducteurs 12 peuvent fonctionner aussi bien en émission qu'en réception.

Ainsi, dans un deuxième mode de fonctionnement du sonar 10, similaire au premier de fonctionnement, les transducteurs 12 de la première branche 13 de la croix de Mills fonctionnent en émission, tandis que ceux de la deuxième
branche 14 fonctionnent en réception.

10 Ce deuxième mode de fonctionnement est comparable en tout point au premier mode de fonctionnement, si ce n'est que :

- la nappe d'ondes sonores émises s'étend transversalement par rapport au drone marin (au lieu de s'étendre longitudinalement par rapport à celui-ci), et
que

15 - l'axe de balayage coïncide avec l'axe transversal y du drone marin 1.

Comme mentionné plus haut, lorsque l'image tridimensionnelle du volume d'observation est relevée grâce à une rotation du plan d'émission autour de son axe de balayage, un compromis doit être trouvé entre la résolution de cette image et la durée nécessaire pour l'acquérir.

20 Un meilleur compromis entre résolution et durée d'acquisition peut être trouvé en commandant les transducteurs 12 selon des schémas d'émission et de réception plus élaborés, comme celui du troisième mode de fonctionnement décrit ci-dessous, en référence aux figures 7 à 9.

25 Ce troisième mode de fonctionnement peut notamment être employé lorsque le nombre N d'émetteurs est égal à 2^p , où p est un nombre entier. Les récepteurs sont également au nombre de N.

Pour chaque émission d'ondes sonores, les signaux d'émissions S1, S2, S3, S4, ... sont produits à partir d'un même signal de référence Sref, multiplié par des gains g1, g2, g3, g4, ... respectifs (figure 7). Les signaux d'émissions
30 présentent ainsi des amplitudes A1, A2, A3, A4, ..., proportionnelles respectivement aux gains g1, g2, g3, g4. Par ailleurs, ces signaux d'émission ne présentent pas de décalage temporel les uns par rapport aux autres (autrement formulé, les décalages temporels Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 , Δt_4 , ... de ces signaux par rapport au signal de référence Sref présentent tous la même valeur).

Chaque séquence d'émissions d'ondes sonores, qui permet de relever une image tridimensionnelle, comprend un nombre M d'émissions. Chacune de ces émissions est repérée, dans cette séquence, par un indice entier (numéro d'ordre) i, l'indice i variant de 1 à M.

5 Les valeurs des gains $g_1(i)$, $g_2(i)$, ..., $g_N(i)$, i variant de 1 à M, appliqués pour produire les signaux d'émission S1, S2, S3, S4, ... qui pilotent les émetteurs 12 lors de cette séquence d'émissions, sont stockés dans une mémoire du système de pilotage 41.

10 La séquence d'émissions est plus précisément associée, dans cette mémoire, à une pluralité respective de lignes d'une matrice de rang N.

Ainsi, la i-ème émission de cette séquence est associée à la j-ème ligne de cette matrice. Les valeurs des gains $g_1(i)$, $g_2(i)$, ..., $g_N(i)$, stockées dans la mémoire du système de pilotage, sont alors proportionnelles aux coefficients de la ligne numéro j de cette matrice de rang N. La séquence de variation d'émission
15 est donc définie, dans ce troisième mode de fonctionnement, par la donnée des M lignes de la matrice de rang N associées respectivement aux M émissions de chaque séquence d'émissions.

Dans ce troisième mode de fonctionnement, différentes matrices de rang N, c'est-à-dire différentes bases d'émission, peuvent être envisagées.

20 De préférence, la base d'émission employée est celle dite de Hadamard, pour laquelle la matrice de rang N mentionnée ci-dessus est la matrice de Hadamard de rang N.

On peut prévoir par exemple que l'émission numéro i soit associée à la ligne numéro i de cette matrice de Hadamard, soit $j=i$.

25 A titre d'exemple, on pourrait prévoir aussi, en variante, que : $j=1$ pour $i=1$, et que $j=2i-1$ pour $i > 1$.

A titre d'illustration, un exemple simplifié de séquence d'émission est représenté sur les figures 7 à 9, pour N=4 émetteurs et M=3 émissions :

30 - pour la première émission d'ondes sonores ($i=1$), associée à la ligne 1 ($j=1$) de la matrice de Hadamard de rang 4 (figure 7) :

$$g_1(1) = 1 ; g_2(1) = 1 ; g_3(1) = 1 ; g_4(1) = 1 ;$$

- pour la deuxième émission d'ondes sonores ($i=2$), associée à la ligne 2 ($j=2$) de cette matrice (figure 8):

$$g_1(2) = 1 ; g_2(2) = - 1 ; g_3(2) = 1 ; g_4(2) = - 1 ; \text{ et}$$

- pour la troisième émission d'ondes sonores, ($i=3$), associée à la ligne 2 ($j=2$) de cette matrice (figure 9) :

$$g_1(3) = 1 ; g_2(3) = 1 ; g_3(3) = - 1 ; g_4(3) = - 1.$$

Les zones Z_H du volume d'observation V où la puissance sonore émise est maximale (du fait d'interférences entre les ondes sonores émises) sont représentées schématiquement par des tirets (épais), sur ces figures.

Au cours d'une telle séquence d'émissions, faire varier l'amplitude des signaux d'émission conformément aux coefficients de différentes lignes d'une matrice de Hadamard de rang N , permet, pour une résolution spatiale donnée, de relever une image tridimensionnelle du volume d'observation V en un temps avantageusement plus court que ce qui serait obtenu par rotation d'un plan d'émission (ou encore par une méthode de synthèse d'ouverture appelée parfois méthode canonique, décrite succinctement plus bas).

Pour cela, on peut prévoir notamment, que le nombre M d'émissions par image (tridimensionnelle) soit inférieur au nombre N d'émetteurs 12. La demanderesse a en effet constaté que cette réduction du nombre d'émissions (qui réduit d'autant la durée d'obtention d'une image) ne dégrade que très légèrement la résolution de l'image par rapport à une image reconstruite à partir une séquence de N émissions (et réceptions associées).

Il est particulièrement intéressant de réduire ainsi le nombre d'émissions nécessaires pour acquérir une image, car cela permet de réduire la consommation énergétique du sonar 10, et donc d'augmenter l'autonomie du drone marin 1.

En outre, pour les applications de suivi de banc de poissons décrites plus loin, il est intéressant de pouvoir acquérir une telle image rapidement, pour éviter notamment que le banc 100 ne sorte du volume d'observation V entre une acquisition d'image et la suivante.

Comme déjà indiqué, d'autres bases d'émission que celle de Hadamard peuvent être employées. On peut prévoir par exemple, à chaque émission, de piloter un seul des émetteurs 12, et de changer d'émetteur entre une émission et la suivante (méthode d'émission parfois appelée méthode canonique dans la littérature spécialisée). La matrice de rang N associée, dans la mémoire du système de pilotage, à la pluralité d'émissions d'ondes sonores, est alors une matrice diagonale (par exemple la matrice identité).

Le sonar 10 multifaisceaux du drone marin 1 ayant été présenté, le

fonctionnement d'ensemble de ce drone peut maintenant être décrit plus en détail.

Tout d'abord, l'unité électronique de navigation 4 est programmée pour piloter le drone :

- en fonction de commandes données par un opérateur situé à distance, 5 reçues par l'intermédiaire du module de communication 7, et/ou
- de manière autonome, sans intervention extérieure.

Lorsque le drone marin 1 est piloté à distance par cet opérateur, l'unité de navigation 4 transmet, grâce à son module de communication 7, des données compressées produites à partir des données issues du sonar 10, en particulier à 10 partir de l'image tridimensionnelle, ou des images tridimensionnelles, de l'environnement marin du drone relevées au moyen du sonar. Ces données (compressées) permettent notamment à l'opérateur de visualiser, au moins en partie, le contenu de l'environnement subaquatique E du drone, et d'adapter son pilotage du drone à ce contenu. La compression des données issues du sonar 10 15 (réalisée par exemple par l'unité électronique de navigation 4) permet de limiter la quantité de données à transmettre, et de réduire là encore la consommation électrique du drone.

Ici, l'unité électronique de navigation 4 est programmée par ailleurs pour enregistrer les données issues du sonar dans sa mémoire. Ces données peuvent 20 être compressées préalablement à leur stockage, pour limiter l'espace mémoire qu'elles occupent. Les taux de compression utilisés alors sont toutefois moins élevés que ceux employés pour produire les données compressées à transmettre : les données stockées, complémentaires des données transmises, permettent, a posteriori, une analyse plus fine de l'environnement subaquatique E 25 que les données transmises en temps réel pour permettre le pilotage du drone.

Lorsque le drone marin 1 navigue de manière autonome, sans intervention extérieure, l'unité électronique de navigation 4 enregistre les données issues du sonar, comme expliqué ci-dessus. Elle peut aussi, de manière optionnelle, transmettre les données compressées mentionnées ci-dessus via le 30 module de communication 7.

Les déplacements du drone marin 1, et les acquisitions correspondantes d'images tridimensionnelles de l'environnement subaquatique E, prévus lors d'opérations d'observation et de caractérisation de cet environnement, sont décrits maintenant en référence aux figures 10 à 13.

La figure 10 représente schématiquement les principales étapes d'un procédé de caractérisation d'un environnement subaquatique E, mis en œuvre par un drone marin de surface tel que celui présenté ci-dessus.

Ce procédé peut être mis en œuvre :

- 5 - du fait d'un pilotage à distance, par un opérateur, du drone marin, et/ou
 - de manière autonome, l'unité électronique de navigation du drone étant alors programmée pour exécuter ce procédé sans intervention extérieure.

10 Ce procédé débute par une étape optionnelle E0 de déplacement du drone marin, jusqu'à une première position d'observation P1. Ce déplacement, piloté par l'unité électronique de navigation 4, est réalisé grâce aux moyens de déplacement 5 mentionnés plus haut.

15 Cette première position P1 (figures 11 et 12) correspond à une position cible au voisinage de laquelle il est probable que des poissons ou des animaux marins soient présents. Cette première position est située par exemple à proximité d'un dispositif flottant, généralement appelé dispositif de concentration de poisson (ou « DCP »), qui rassemble autour de lui une faune pélagique évoluant à faible profondeur. Cette première étape permet par exemple au drone marin 1 de se déplacer depuis une position initiale P0 où il a été mis à l'eau, au voisinage d'un navire 200 de plus fort tonnage manœuvré par un équipage, jusqu'à cette position
20 P1 d'observation.

25 Le procédé se poursuit par une étape a) d'acquisition d'une image tridimensionnelle de l'environnement subaquatique E, c'est-à-dire par une étape au cours de laquelle le système de pilotage 41 commande à la pluralité d'émissions successives d'ondes sonores, l'unité d'acquisition 42 acquérant, pour chacune desdites émissions, les signaux d'écho captés par les récepteurs 12 du sonar 10 en réponse à l'émission considérée, et déterminant, à partir des signaux d'écho acquis en réponse à ladite pluralité d'émissions, une image tridimensionnelle représentative du contenu du volume d'observation V.

30 L'étape suivante T0, optionnelle, est une étape de test au cours de laquelle il est déterminé si des poissons sont présents dans ce volume d'observation V.

Si aucun poisson n'est détecté dans le volume d'observation, le procédé reprend, l'étape E0 (flèche F2 de la figure 10), par un déplacement du drone marin vers une autre position cible. Plusieurs positions cibles distinctes peuvent ainsi

être testées successivement jusqu'à ce que la présence d'une population marine soit détectée par le sonar. De manière optionnelle, on peut prévoir de tester, à l'étape T0, si le banc de poissons détecté satisfait un critère donné, relatif par exemple à une densité de poissons dans ce banc, et, si ce critère n'est pas satisfait, d'exécuter à nouveau l'étape E0.

En cas de détection de poissons dans le volume d'observation V, le procédé se poursuit, après l'étape T0 par des étapes visant à caractériser plus finement le banc de poissons 100 détecté (flèche F3 de la figure 10).

Ces étapes comprennent :

- 10 - une étape b) de détermination d'une position du banc de poissons 100, par traitement de l'image tridimensionnelle acquise lors de l'exécution précédente de l'étape a),
- une étape c) de déplacement du drone marin 1 de surface jusqu'à une position P2, P3, ..., située au droit de ladite position du banc de poissons 100, et,
- 15 à nouveau,
- l'étape a) d'acquisition d'une image tridimensionnelle de l'environnement subaquatique E.

Lors de cette répétition de l'étape a), le drone marin 1 est donc situé au droit, c'est-à-dire à la verticale de la position du banc de poissons 100, cette position étant particulièrement propice pour observer et caractériser ce banc de poissons 100.

La position du banc de poissons 100 déterminée à l'étape b) correspond ici à un centre C de ce banc de poissons 100. Il est très intéressant que le drone marin 1 acquière ainsi des images tridimensionnelles de ce banc, en étant situé à la verticale de son centre C, car c'est en effet généralement au centre d'un tel banc que le type de poissons rencontrés, leur concentration et leur comportement sont les plus représentatifs de l'ensemble du banc. C'est aussi de cette position que les dimensions du banc peuvent être déterminées avec le plus de précision.

La capacité du drone marin 1 d'acquérir des images tridimensionnelles de l'environnement aquatique, sans avoir à se déplacer pour cela, s'avère extrêmement utile dans ce procédé.

En effet, une telle image tridimensionnelle est acquise par le drone marin 1 beaucoup plus rapidement (et discrètement) que ce qui serait obtenu par déplacement à la surface de l'eau, d'un drone muni d'un sonar multifaisceaux

classique sans capacité de balayage. Cette rapidité d'acquisition permet notamment de déterminer la position du banc de poissons presque instantanément, et de commander un déplacement du drone marin jusqu'à l'aplomb de cette position avant que le banc de poissons n'ait eu le temps de se
5 déplacer substantiellement.

De plus, comme déjà indiqué, cette capacité d'imagerie tridimensionnelle permet au drone marin 1 d'observer l'ensemble du banc de poissons 100 détecté en restant à l'aplomb de celui-ci, ce qui est le plus propice en termes d'observation du banc.

10 Les étapes b) et c) sont maintenant décrites plus en détail, dans le cas d'une navigation autonome du drone marin 1.

Au cours de l'étape b), pour localiser le centre C du banc de poissons 100, le système de pilotage 41 :

- détermine, par traitement de l'image tridimensionnelle acquise lors de
15 l'exécution précédente de l'étape a), les positions respectives d'une pluralité de points situés sur le pourtour 101 du banc de poissons 100, puis

- détermine une position du centre C du banc de poissons en fonction des positions de ces points, par exemple en calculant la position d'un barycentre de ces points (c'est-à-dire en calculant une position moyenne définie par ces
20 points).

Les positions des points du pourtour 101 du banc de poissons peuvent être déterminées au moyen d'un algorithme de détection de contour.

On peut prévoir, en variante, que le centre C du banc de poissons soit déterminé, à l'étape b), en calculant directement la position d'un barycentre des
25 différentes points du volume d'observation V au niveau desquels un ou des poissons ont été détectés, plutôt qu'en détectant préalablement le contour du banc.

Si une partie 100' seulement du banc de poissons 101 est située dans le volume d'observation V (situation représentée schématiquement sur la figure 13),
30 c'est la position du centre C de cette partie 100' du banc de poissons qui, ici, est déterminée à l'étape b) par le système de pilotage 41.

L'étape b) est suivie d'une étape T, de test, au cours de laquelle le système de pilotage 41 détermine si le drone marin 1 de surface est situé à la verticale du centre C du banc de poissons 100. Si tel est le cas, le procédé

reprend à l'étape a) (flèche F6 de la figure 10).

Par contre, si l'étape T montre que le drone marin 1 est décalé, dans le plan horizontal (x,y), par rapport au centre C du banc de poissons, le procédé se poursuit alors par l'étape c) de déplacement du drone marin 1 jusqu'au droit du centre C du banc de poissons (flèche F4 de la figure 10). Le procédé reprend ensuite à l'étape a) (flèche F5 de la figure 10).

L'ensemble des étapes a), b), T et s'il y a lieu, c), sont ensuite exécutées à nouveau, et ainsi de suite plusieurs fois successivement.

Répéter continument cette séquence d'étapes permet au drone marin 1 de se maintenir au dessus du centre C du banc de poissons, et de suivre un déplacement éventuel de ce centre.

La figure 12 illustre schématiquement un tel suivi. Le drone marin 1, mis à l'eau à la position initiale P0, est tout d'abord déplacé jusqu'à la première position P1 d'observation. Depuis cette première position, il acquiert une image tridimensionnelle de son environnement aquatique. Celle-ci montre qu'un banc de poissons 100 est présent dans le volume d'observation V (figure 11), et permet d'en déterminer le centre C. Le drone marin se déplace alors jusqu'à une deuxième position P2 située à l'aplomb de ce centre. Puis, suite à un déplacement ultérieur du banc de poissons, le drone marin ajuste sa position en se déplaçant jusqu'à une troisième position P3 (située à l'aplomb d'une nouvelle position occupée par le centre du banc), et ainsi de suite.

Le système de pilotage 41 du drone marin 1 est programmé en outre, ici, pour, après l'étape a), exécuter une étape d) de détermination d'au moins une donnée représentative du banc de poissons 100, autre que la position de son centre, en fonction des données acquises par l'unité d'acquisition 42 à l'étape a).

Ladite donnée peut par exemple être relative aux dimensions du banc de poissons (largeur, longueur, hauteur, volume,...), à sa morphologie, à une densité ou un nombre de poissons dans le banc (une telle estimation pouvant être basée notamment sur les mesures d'intensité de rétrodiffusion précitées), ou à une mobilité de ces poissons.

Différentes variantes peuvent être apportées au drone marin 1 et au procédé de caractérisation qui viennent d'être décrits.

Tout d'abord, la croix selon laquelle sont disposés les transducteurs du sonar pourrait alignée différemment par rapport au drone marin. Les branches de

cette croix pourraient par exemple être disposées à 45 degrés entre l'axe longitudinal et l'axe transversal du drone marin, au lieu d'être alignée avec ceux-ci. Les transducteurs pourraient aussi être disposés selon un quadrillage (en matrice), plutôt qu'en croix.

5 D'autre part les différentes fonctions du système de pilotage, de l'unité d'acquisition, et de l'unité de commande des transducteurs pourraient être réparties différemment entre ces unités. Par exemple, la détermination de la position du centre du banc de poissons pourrait bien sûr être réalisée par l'unité d'acquisition plutôt que par le système de pilotage. D'ailleurs, les unités de
10 pilotage et d'acquisition pourraient d'ailleurs être réalisées au moyen d'un même module électronique de l'unité électronique de navigation du drone marin. L'unité de commande des transducteurs pourrait d'ailleurs être intégrée elle aussi à l'unité électronique de navigation.

15 Par ailleurs, d'autres modes de suivi du centre du banc pourraient être envisagés. Par exemple, plusieurs positions antérieures du centre du banc de poissons pourraient être prises en compte pour déterminer une position future au niveau de laquelle sera probablement situé le banc de poissons (le drone étant ensuite piloté jusqu'à cette position).

REVENDEICATIONS MODIFIÉES

reçues par le Bureau international le 12 Juin 2019 (12.06.2019)

1. Drone marin (1) de surface comprenant un sonar (10) embarqué, le sonar (10), du type multifaisceaux, comportant une pluralité d'émetteurs (12) d'ondes sonores disposés le long d'un premier axe (x,y) et une pluralité de récepteurs (12) d'ondes sonores disposés le long d'un deuxième axe (y,x) qui n'est pas parallèle au premier axe (x,y), caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

- un système de pilotage (41) du sonar (10) configuré pour commander, pour une position (P1, P2, P3) donnée du drone marin (1), une pluralité d'émissions successives d'ondes sonores,

le système de pilotage (41) pilotant les différents émetteurs (12), à chaque émission, par une pluralité respective de signaux d'émission (S1, S2, S3, S4), chaque signal d'émission (S1, S2, S3, S4) présentant une amplitude et un décalage temporel (Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 , Δt_4) par rapport à un signal de référence (Sref),

le système de pilotage (41) faisant varier les amplitudes ou les décalages temporels (Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 , Δt_4) respectifs desdits signaux d'émission (S1, S2, S3, S4), au cours de ladite pluralité d'émissions, conformément à une séquence de variation d'émission prédéterminée, l'ensemble des ondes sonores émises au cours de ladite pluralité d'émissions couvrant un volume d'observation (V) donné, et

- une unité d'acquisition (42) configurée pour :

- acquérir, pour chacune desdites émissions, des signaux d'écho captés par les récepteurs (12) du sonar (10) en réponse à l'émission considérée, et pour

- déterminer, à partir des signaux d'écho acquis en réponse à ladite pluralité d'émissions, une image tridimensionnelle représentative du contenu du volume d'observation (V).

2. Drone marin (1) de surface selon la revendication 1, dans lequel le sonar (10) est configuré pour qu'un rapport d'aspect du volume d'observation (V), égal à la dimension la plus petite du volume d'observation divisée par la dimension la plus grande du volume d'observation, soit supérieur à 0,2.

3. Drone marin (1) de surface selon l'une des revendications 1 à 2, dont la dimension externe la plus grande (L) est inférieure à 2 mètres.

4. Drone marin (1) de surface selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel les émetteurs (12) et récepteurs (12) du sonar (10) sont intégrés à la coque (2) du drone marin (1) de surface, et dans lequel le sonar (10) comprend une unité de commande (11) électronique des émetteurs et des récepteurs (12) logée dans
5 la cale (3) du drone marin (1) de surface.

5. Drone marin (1) de surface selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le système de pilotage (41) est adapté en outre pour, préalablement à ladite pluralité d'émissions d'ondes sonores, commander un déplacement du drone marin de surface jusqu'à ladite position (P1, P2, P3) donnée.

10 6. Drone marin (1) de surface selon la revendication 5, dans lequel le système de pilotage (41) est adapté en outre pour :

- détecter un banc de poissons (100) par traitement de ladite image tridimensionnelle,

- commander un déplacement du drone marin de surface jusqu'à une
15 autre position (P2, P3), située au droit du banc de poissons (100), et pour ensuite

- commander à nouveau ladite pluralité d'émissions successives d'ondes sonores, le drone marin (1) étant situé à ladite autre position (P2, P3), l'unité d'acquisition (42) acquérant, pour chacune desdites émissions, les signaux d'écho captés par les récepteurs (12) du sonar (10) en réponse à l'émission considérée,
20 et déterminant, à partir des signaux d'écho acquis en réponse à ladite pluralité d'émissions, une autre image tridimensionnelle représentative du contenu du volume d'observation (V).

7. Drone marin (1) de surface selon la revendication 6, dans lequel le système de pilotage (41) est adapté en outre pour déterminer une donnée
25 représentative dudit banc de poissons (100) autre qu'une position d'un centre (C) du banc de poissons (100), en fonction de ladite autre image tridimensionnelle.

8. Drone marin (1) de surface selon l'une des revendications 6 et 7, dans lequel le système de pilotage (41) est adapté en outre pour localiser, en fonction de ladite image tridimensionnelle, un centre (C) du banc de poissons (100), et
30 dans lequel ladite autre position (P2, P3) est située au droit du centre (C) du banc de poissons (100).

9. Drone marin (1) de surface selon l'une des revendications 1 à 8, configuré en outre pour, après avoir déterminé ladite image tridimensionnelle représentative du contenu du volume d'observation (V), déterminer si des

poissons sont présents dans le volume d'acquisition (V), et, si aucun poisson n'est détecté dans le volume d'observation, pour se déplacer vers une autre position, afin de tester successivement plusieurs positions distinctes jusqu'à ce que la présence d'une population marine soit détectée par le sonar (10).

5 10. Drone marin (1) de surface selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel les décalages temporels (Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 , Δt_4) respectifs desdits signaux d'émission (S1, S2, S3, S4) variant conformément à ladite séquence d'émissions, sont tels que :

- pour chacune desdites émissions d'ondes sonores, la puissance sonore
10 émise soit concentrée, par interférence entre les ondes sonores émises, dans un plan d'émission (P),

- entre chacune desdites émissions et l'émission suivante, le plan d'émission (P) pivote autour d'un axe de balayage (x, y),

- au cours de ladite pluralité d'émissions d'ondes sonores, le plan
15 d'émission (P) balaye, du fait desdits pivotements, l'ensemble du volume d'observation (V).

11. Drone marin (1) de surface selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel :

- les émetteurs (12) du sonar (10) sont au nombre de N,

20 - dans lequel, ladite pluralité d'émissions d'ondes sonores est associée, dans une mémoire du système de pilotage, à une pluralité respective de lignes d'une matrice de Hadamard de rang N, et dans lequel

- pour chacune desdites émissions d'ondes sonores, les amplitudes respectives desdits signaux d'émission (S1, S2, S3, S4) sont proportionnelles aux
25 coefficients de la ligne de la matrice de Hadamard associée à l'émission considérée.

12. Drone marin (1) de surface selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel :

- le premier axe (x,y) et le deuxième axe (y,x) sont séparés par un angle
30 compris entre 60 degrés et 90 degrés,

- les émetteurs (12) sont répartis, le long du premier axe (x,y), sur au moins 20 centimètres de long, et dans lequel

- les récepteurs (12) sont répartis, le long du deuxième axe (y,x), sur au moins 20 centimètres de long.

13. Procédé de caractérisation d'un environnement subaquatique (E) mis en œuvre par un drone marin (1) de surface comprenant un sonar (10) embarqué, le sonar (10), du type multifaisceaux, comportant une pluralité d'émetteurs (12) d'ondes sonores disposés le long d'un premier axe (x,y) et une pluralité de
5 récepteurs (12) d'ondes sonores disposés le long d'un deuxième axe (y,x) qui n'est pas parallèle au premier axe (x,y),

caractérisé en ce que, au cours du procédé :

- un système de pilotage (41) du sonar (10) commande, pour une position (P1, P2, P3) donnée du drone marin (1), une pluralité d'émissions
10 successives d'ondes sonores,

le système de pilotage (41) pilotant les différents émetteurs (12), à chaque émission, par une pluralité respective de signaux d'émission (S1, S2, S3, S4), chaque signal d'émission (S1, S2, S3, S4) présentant une amplitude et un décalage temporel (Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 , Δt_4) par rapport à un signal de référence (Sref),

15 le système de pilotage (41) faisant varier les amplitudes ou les décalages temporels (Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 , Δt_4) respectifs desdits signaux d'émission (S1, S2, S3, S4), au cours de ladite pluralité d'émissions, conformément à une séquence de variation d'émission prédéterminée, l'ensemble des ondes sonores émises au cours de ladite pluralité d'émissions couvrant un volume d'observation
20 (V) donné,

- une unité d'acquisition (42) acquiert, pour chacune desdites émissions, des signaux d'écho captés par les récepteurs (12) du sonar (10) en réponse à l'émission considérée, et

- l'unité d'acquisition (42) détermine, à partir des signaux d'écho acquis
25 en réponse à ladite pluralité d'émissions, une image tridimensionnelle représentative du contenu du volume d'observation (V).

14. Procédé de caractérisation selon la revendication 13, dans lequel un rapport d'aspect du volume d'observation (V), égal à la dimension la plus petite du volume d'observation divisée par la dimension la plus grande du volume
30 d'observation, est supérieur à 0,2.

15. Procédé de caractérisation selon l'une des revendications 13 et 14, au cours duquel le système de pilotage (41) commande en outre, préalablement à ladite pluralité d'émissions d'ondes sonores, un déplacement du drone marin (10) de surface jusqu'à ladite position donnée (P1, P2, P3).

16. Procédé de caractérisation selon la revendication 15, au cours duquel le système de pilotage (41) :

- détecte un banc de poissons (100) par traitement de ladite image tridimensionnelle,
- 5 - commande un déplacement du drone marin (1) de surface jusqu'à une autre position (P2, P3) située au droit du banc de poissons (100), et ensuite,
- commande à nouveau ladite pluralité d'émissions successives d'ondes sonores, le drone marin (1) étant situé à ladite autre position (P2, P3), l'unité d'acquisition (42) acquérant, pour chacune desdites émissions, les signaux d'écho
- 10 captés par les récepteurs (12) du sonar (10) en réponse à l'émission considérée, et déterminant, à partir des signaux d'écho acquis en réponse à ladite pluralité d'émissions, une autre image tridimensionnelle représentative du contenu du volume d'observation (V).

17. Procédé de caractérisation selon la revendication 16, comprenant en

15 outre une étape de détermination d'une donnée représentative dudit banc de poissons (100) autre qu'une position d'un centre (C) du banc de poissons (100), en fonction de ladite autre image tridimensionnelle.

18. Procédé de caractérisation selon l'une des revendications 16 et 17, au cours duquel le système de pilotage (41) localise, en fonction de ladite image

20 tridimensionnelle, le centre (C) du banc de poissons (100), et dans lequel ladite autre position (P2, P3) est située au droit du centre (C) du banc de poissons (100).

19. Procédé de caractérisation selon la revendication 18, au cours duquel le système de pilotage (41) détermine, en fonction de ladite image tridimensionnelle, les positions respectives d'une pluralité de points situés sur le

25 pourtour (101) du banc de poissons (100), et détermine une position du centre (C) du banc de poissons en fonction des positions de ces points.

20. Procédé de caractérisation selon l'une des revendications 18 et 19, au cours duquel la séquence des étapes de :

- commande de ladite pluralité d'émissions successives d'ondes sonores,
- 30 et, pour chacune desdites émissions, acquisition des signaux d'écho captés par les récepteurs (12) du sonar (10) en réponse à l'émission considérée, puis détermination, à partir des signaux d'écho acquis en réponse à ladite pluralité d'émissions, d'une image tridimensionnelle représentative du contenu du volume d'observation (V),

- localisation du centre (C) du banc de poissons (100), et
 - en cas de décalage du drone marin (1) par rapport au centre (C) du banc de poissons (100), déplacement du drone marin jusqu'au droit du centre (C) du banc de poissons,
- 5 est exécutée plusieurs fois successivement.

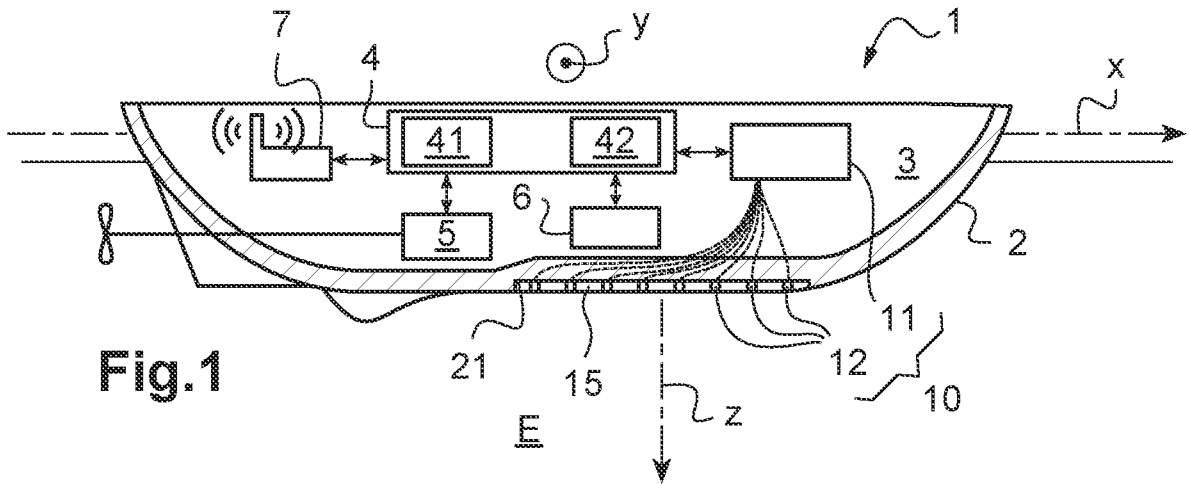


Fig.1

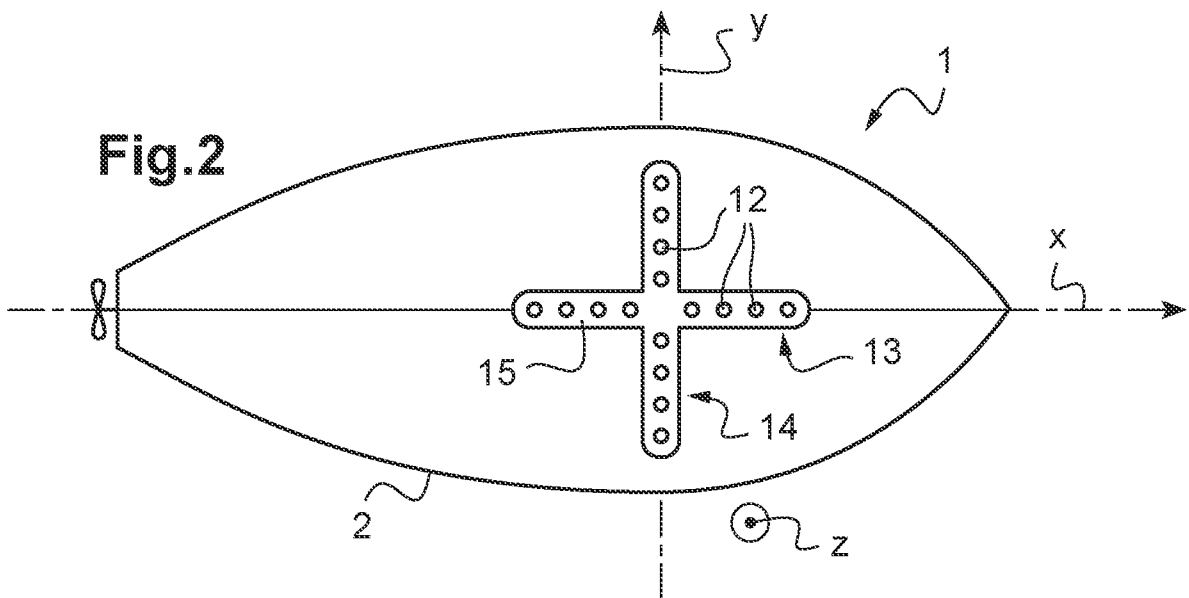


Fig.2

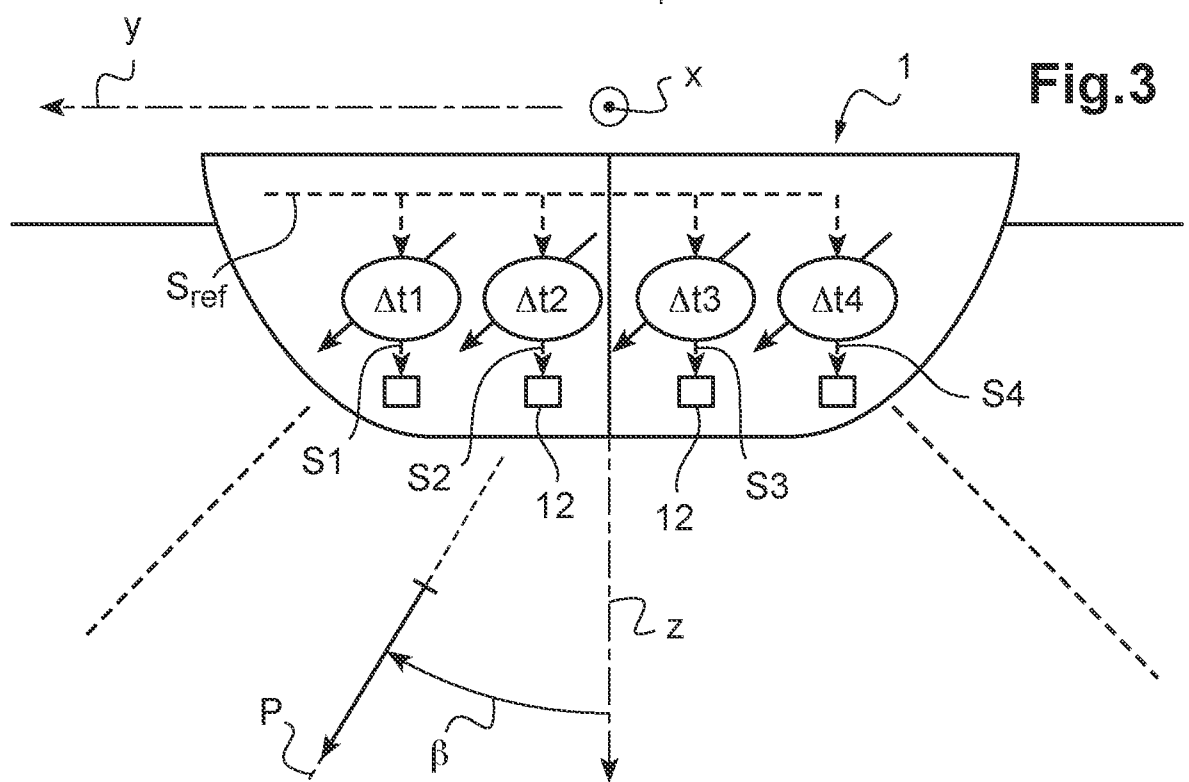


Fig.3

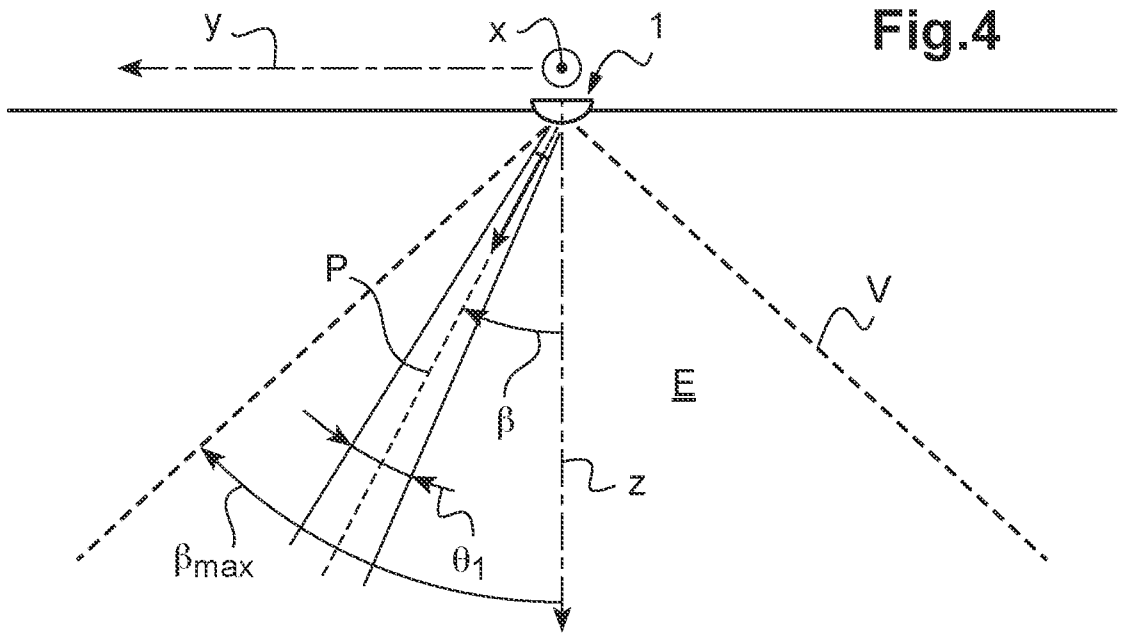


Fig.4

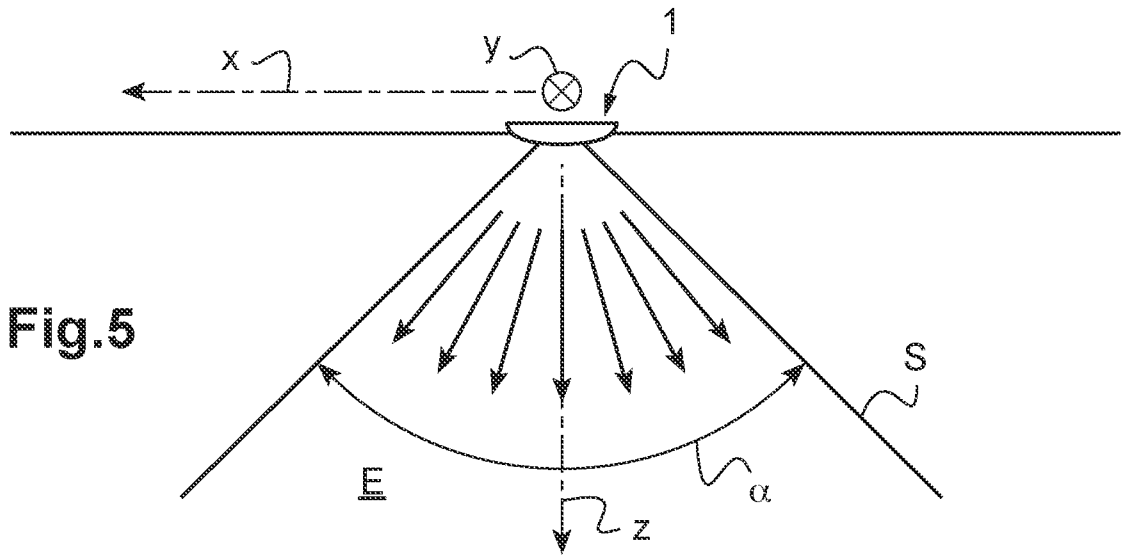


Fig.5

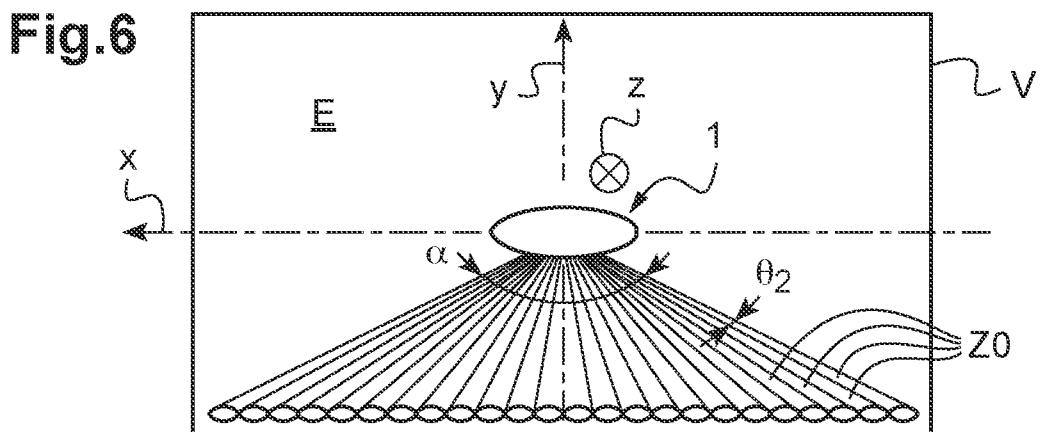


Fig.6

Fig.7

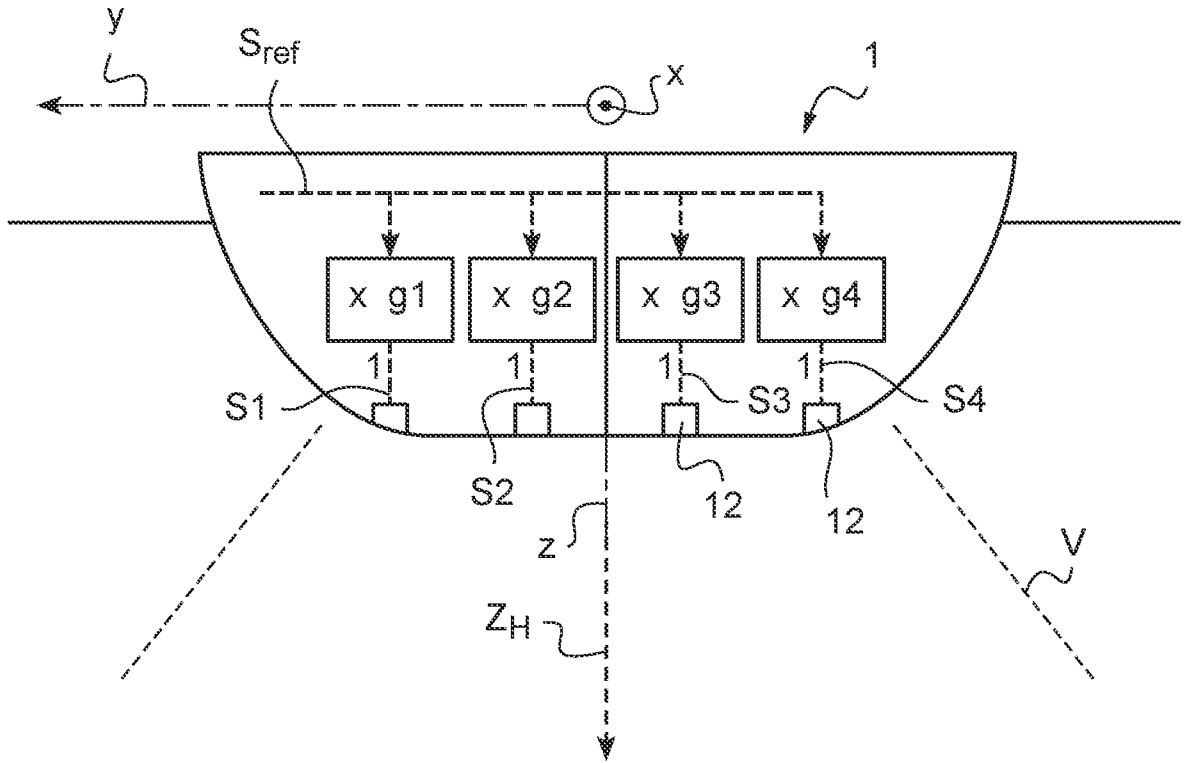
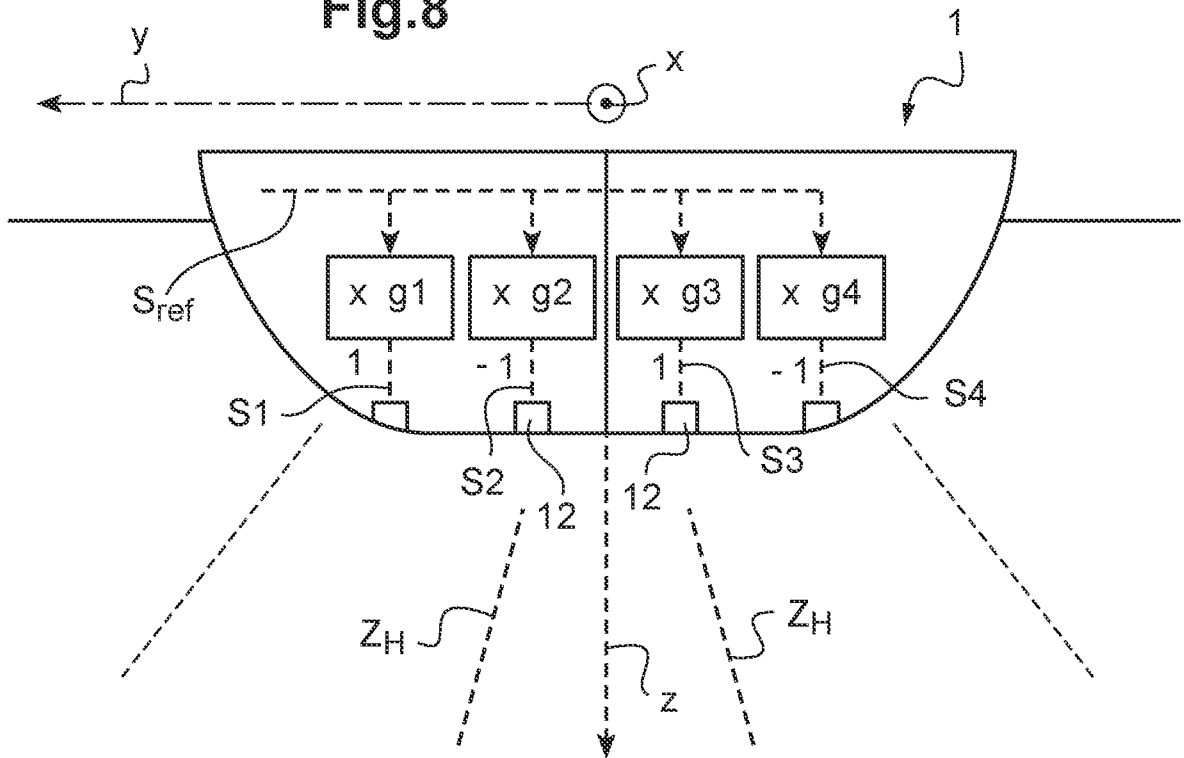


Fig.8



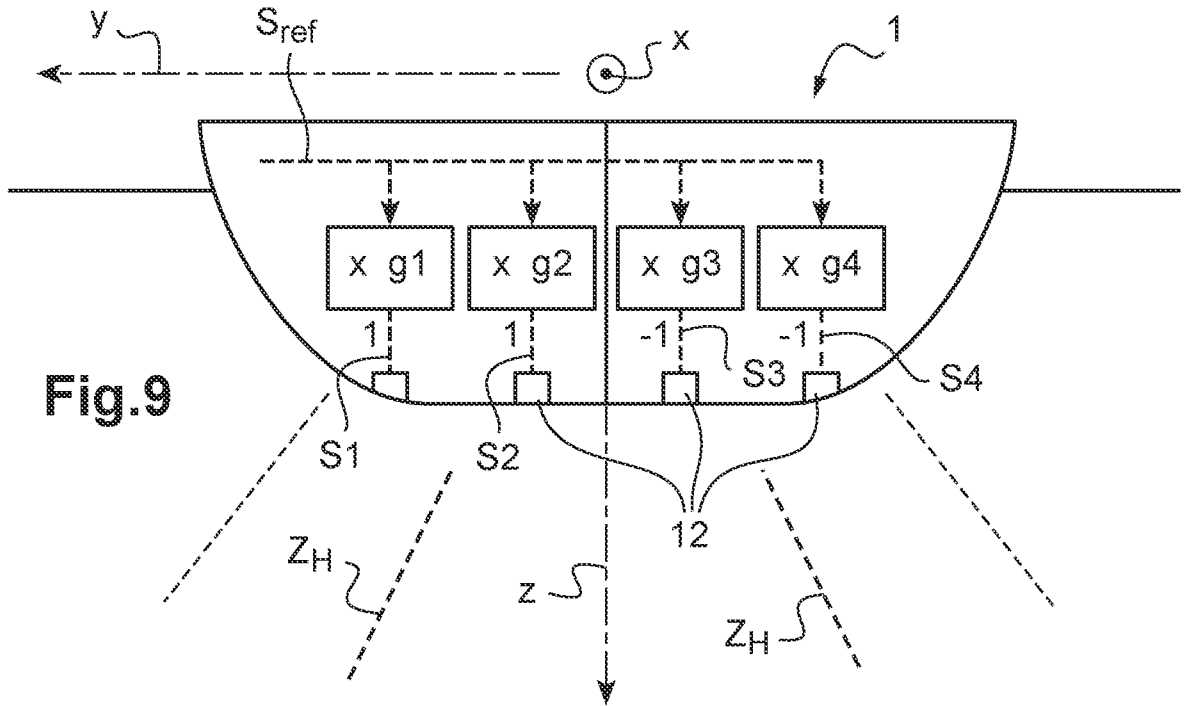


Fig.9

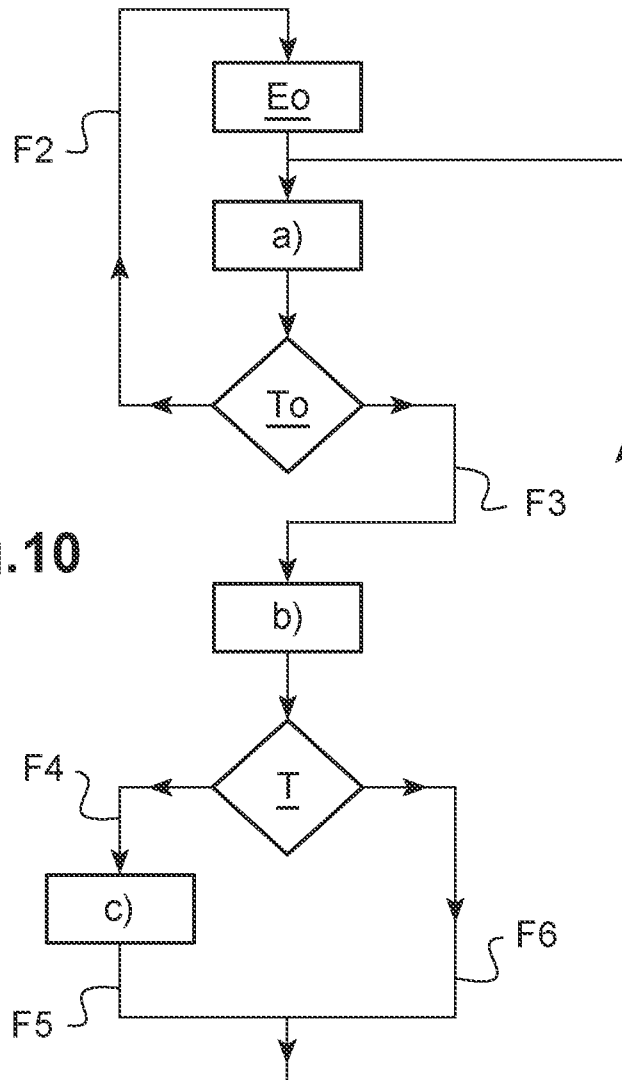


Fig.10

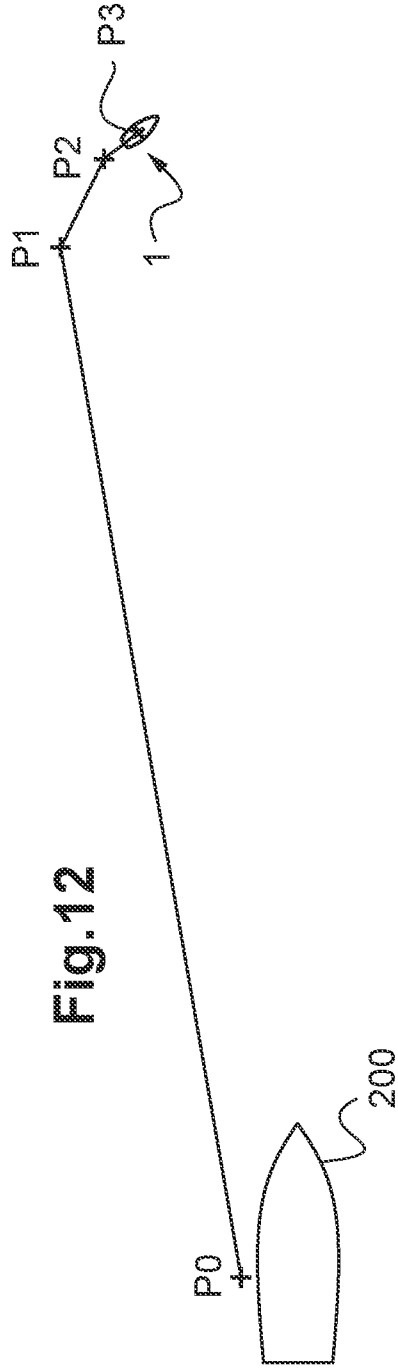


Fig.12

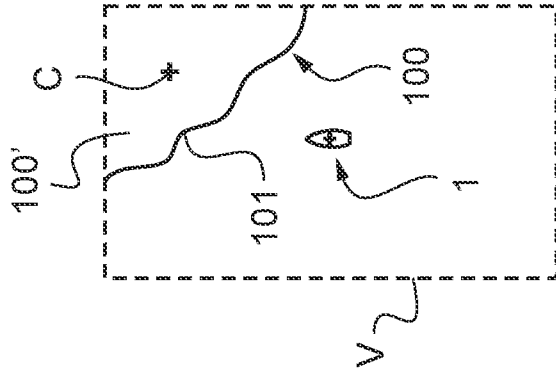


Fig.13

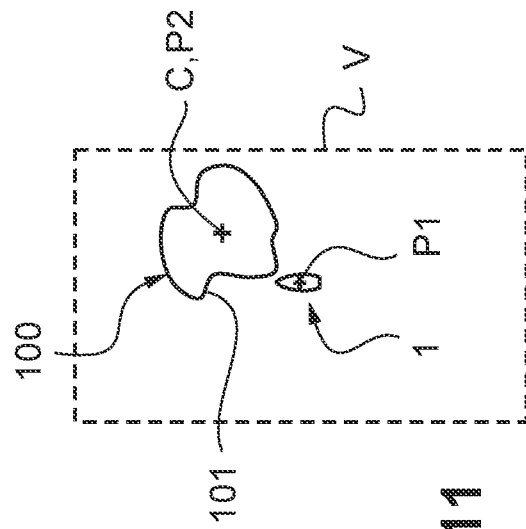


Fig.11

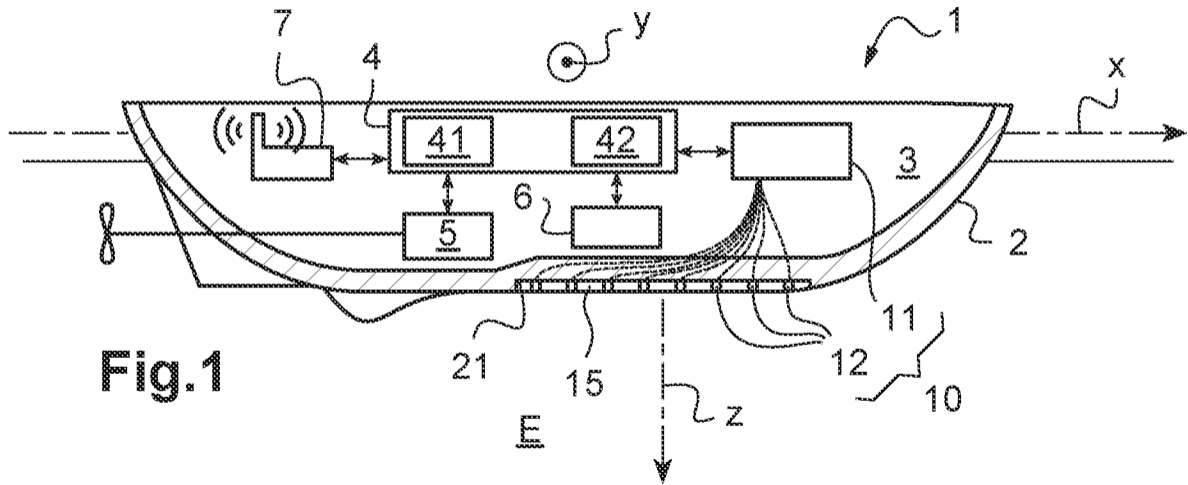


Fig.1