

DESCRIPTION

Procédé d'amélioration de la couverture horaire d'un sonar à formation de voies

Domaine technique

[0001] L'invention se rapporte à un procédé d'amélioration de la couverture horaire d'un sonar à formation de voies (ou « beamforming » selon la terminologie anglo-saxonne), ainsi qu'à un système apte à mettre en œuvre le procédé. L'invention est particulièrement, mais non exclusivement, adaptée aux sonars embarqués dans des drones autonomes, dans le cadre de la guerre des mines.

[0002] Les systèmes d'imagerie sous-marine utilisent majoritairement un traitement à antenne synthétique (ou « synthetic aperture » selon la terminologie anglo-saxonne) afin de bénéficier d'une résolution longitudinale élevée. L'antenne est fixée sur une face latérale d'un sonar 1 (par exemple un drone sous-marin, cf. figure 1). Etant donné que le sonar 1 (plus précisément le porteur du sonar) se déplace selon une direction de déplacement longitudinal 2, le même point est illuminé plusieurs fois (fauchée 3, ou « swath » selon la terminologie anglo-saxonne), ce qui permet d'obtenir une série de données pour chaque point sous le sonar. En combinant la variation d'amplitude et de phase de ces retours, le traitement d'antenne synthétique permet d'obtenir des images des zones observées comme si une large antenne à très grande résolution était utilisée.

[0003] La couverture horaire peut être définie comme étant la surface couverte par le sonar dans un temps donné. La figure 2 illustre une zone 4 (un fond sous-marin) couverte par un sonar 1. Le trajet du sonar est segmenté en une pluralité de couloirs 5 (ou rails) prédéterminés, afin de cartographier toute la zone 4.

[0004] Un inconvénient des traitements à antenne synthétique est qu'ils imposent une limite physique à l'avancement du porteur. En effet, pour une antenne de longueur L , le porteur ne peut pas se déplacer de plus de $L/2$ entre deux pings (impulsions sonores). Ce qui suit démontre que la couverture horaire dépend presque exclusivement de la longueur de l'antenne physique, pour un traitement à antenne synthétique.

[0005] Typiquement, et comme l'illustre la figure 3, pour un sonar SAS (pour Synthetic Aperture Antenna, ou Antenne à ouverture synthétique) bi-bords 1, c'est-à-dire éclairant des deux côtés de la direction longitudinale de déplacement, avec recouvrement du trou de couverture sous le sonar, la couverture horaire ACR (pour « Area Coverage Rate » selon la terminologie anglo-saxonne) vaut :

$$[0006] ACR = (3P - A - m) \cdot V / 2$$

[0007] A correspond à l'altitude du sonar ; P correspond à la portée du sonar ; m correspond à la marge de recouvrement pour prendre en compte les erreurs de positionnement ; V correspond à la vitesse d'avancée du porteur.

[0008] Le traitement SAS impose une limite à la vitesse d'avancée du porteur. En première approximation, il peut être considéré que cette vitesse vaut :

$$[0009] V_{\max SAS} = L / (2 \cdot Tr)$$

[0010] L correspond à la longueur de l'antenne de réception ; Tr correspond à la durée inter-pings, relié à la portée P par la relation suivante : $P = c \cdot Tr / 2$ (et c, célérité du son dans l'eau).

[0011] La couverture horaire s'écrit alors :

$$[0012] ACR = \left(3 \cdot \frac{c \cdot Tr}{2} - A - m \right) \frac{L}{4 \cdot Tr}$$

[0013] En négligeant la marge, ainsi que l'altitude (cas très rasant et/ou longue portée), on obtient :

$$[0014] ACR = \frac{3 \cdot c \cdot L}{8}$$

[0015] Cette formule simplifiée montre que la couverture horaire, dans le cas d'un traitement à antenne synthétique classique, est exclusivement dépendante de la longueur de l'antenne physique de réception. Sans modification du sonar, il n'est donc pas possible d'augmenter la couverture horaire (ou de façon très marginale).

[0016] Plusieurs solutions existent, afin d'augmenter la couverture horaire.

[0017] Une première solution consiste à augmenter le nombre de porteurs afin d'augmenter mécaniquement la couverture horaire, mais avec une augmentation proportionnelle du coût de la solution. Par ailleurs, cette solution nécessite une

manutention d'un nombre conséquent de sonars, ainsi qu'une gestion complexe des interférences entre sonars.

[0018] Une deuxième solution consiste à appliquer un traitement dit « Fast SAS », tel que ceux décrits dans [1] ou [2]. Cet algorithme est également appelé « under-sampled SAS Data » ou encore « sparse SAS data ». Il consiste à augmenter la vitesse de déplacement du sonar au-delà de la vitesse limite $V_{\max \text{SAS}}$; l'antenne synthétique devient sous-échantillonnée, faisant apparaître des lobes réseaux (« grating lobes »), qui dégradent la qualité de l'image. Les algorithmes « Fast SAS » visent donc à réduire ces lobes réseaux. Toutefois, la réduction des lobes réseaux n'est pas assez efficace, dans les solutions de l'art antérieur.

[0019] Ainsi, aucune solution logicielle ne fonctionne correctement. Seules des solutions hardware permettraient de résoudre le problème lié au dépassement de la vitesse limite $V_{\max \text{SAS}}$. Mais ces solutions ne sont pas compatibles avec les sonars existants, sont chères et encombrantes. Leur compatibilité avec drones sous-marins ayant un volume réduit d'emport est très incertaine.

[0020] Ainsi, il existe un besoin pour fournir un procédé d'amélioration de la couverture horaire d'un sonar à formation de voies, qui ne nécessite pas d'aménagement matériel sur les sonars existants, et qui s'affranchit de la limite physique de la vitesse d'avancement du porteur.

Résumé de l'invention

[0021] Un objet de l'invention est donc un procédé d'amélioration de la couverture horaire d'un sonar à formation de voies et configuré pour être embarqué sur un porteur dans une zone à imager afin de caractériser au moins une cible, le procédé comprenant les étapes de :

- fourniture d'une imagerie, par un traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, d'un fond marin de la zone, selon un axe de visée latérale qui est sensiblement perpendiculaire à la direction de déplacement du porteur ;
- fourniture d'une évaluation anticipée du fond marin, selon un axe de visée dépointé par rapport à l'axe de visée latérale ;
- sélection d'une commande parmi :

- une réduction de la vitesse du porteur en-dessous d'une valeur seuil spécifique au traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, en fonction de l'évaluation anticipée du fond marin, afin de maintenir le traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, ou

- un passage du traitement cohérent à un traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur, sans réduire la vitesse en-dessous de la valeur seuil spécifique au traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne.

[0022] Avantageusement, le traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur comprend un traitement dit incohérent, le traitement incohérent comprenant :

- une estimation du mouvement du porteur par un module de positionnement ;
- une compensation de chaque image reconstruite en fonction du mouvement du porteur, de façon à obtenir des images compensées ;
- une sommation en amplitude des images compensées.

[0023] Avantageusement, le passage du traitement cohérent à un traitement incohérent est conditionné par le passage d'un coefficient de corrélation sous une valeur seuil, le coefficient de corrélation étant obtenu par la corrélation des signaux d'antenne d'un ping à l'autre.

[0024] Avantageusement, la fourniture d'une évaluation anticipée du fond marin comprend les étapes de :

- acquisition de mesures selon l'axe de visée dépointé par rapport à l'axe de visée latérale, de façon à obtenir une image dite dépointée ;
- détection de la cible dans l'image dépointée ;
- classification de la cible selon au moins un critère de classification, afin de déterminer si la cible est un objet d'intérêt ;

et dans lequel, si la classification est considérée comme étant de bonne qualité, le traitement cohérent passe au traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur, et si la classification est considérée comme étant de mauvaise qualité, la vitesse du porteur est réduite sous la valeur seuil spécifique au traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne.

[0025] Avantageusement, la classification de l'objet comprend une attribution d'une note de qualité, la note de qualité étant calculée par le produit d'une première probabilité et d'une deuxième probabilité, la première probabilité étant spécifique à l'algorithme utilisé pour la classification, la deuxième probabilité dépendant de la résolution de l'image dépointée et des dimensions de la cible.

[0026] Avantageusement, le procédé comprend un calcul d'une fusion de notes de qualité, pour une pluralité de cibles détectées durant l'évaluation anticipée du fond marin, la commande étant sélectionnée en fonction du résultat de la fusion.

[0027] Avantageusement, le traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur est exécuté sous réserve que l'évaluation anticipée du fond marin détermine qu'une cible est située à une distance inférieure à la résolution du traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne.

[0028] Avantageusement, le traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur est exécuté si l'évaluation anticipée du fond marin comprend la détection d'une cible qui a déjà été imagée par traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne dans un rail distinct du rail actuel dans lequel se trouve le porteur.

[0029] Avantageusement, le procédé comprend les étapes de :

- réception d'un plan de mission définissant au moins un premier rail et un deuxième rail à emprunter par le porteur ;
- l'évaluation anticipée comprenant une détermination de la distance entre le sonar et la cible ;
- la commande étant exécutée dans le premier rail en fonction de la distance entre le sonar et la cible dans le premier rail et dans le deuxième rail.

[0030] L'invention se rapporte également à un système configuré pour améliorer la couverture horaire d'un sonar à formation de voies et configuré pour être embarqué sur un porteur dans une zone à imager afin de caractériser au moins une cible, le système comprenant :

- un dispositif d'imagerie, par un traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, d'un fond marin de la zone, selon un axe de visée latérale qui est sensiblement perpendiculaire à la direction de déplacement du porteur ;

- un dispositif d'évaluation anticipée du fond marin, selon un axe de visée dépointé par rapport à l'axe de visée latérale ;
- un dispositif de sélection d'une commande parmi :
 - une réduction de la vitesse du porteur en-dessous d'une valeur seuil spécifique au traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, en fonction de l'évaluation anticipée du fond marin, afin de maintenir le traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, ou
 - un passage du traitement cohérent à un traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur, sans réduire la vitesse en-dessous de la valeur seuil spécifique au traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne.

Description des figures

[0031] D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés donnés à titre d'exemple.

[0032] La figure 1, déjà décrite, illustre le déplacement et la fauchée d'un sonar à ouverture synthétique d'antenne.

[0033] La figure 2, déjà décrite, illustre la trajectoire d'un sonar à ouverture synthétique d'antenne dans une zone prédéterminée.

[0034] La figure 3, déjà décrite, illustre une représentation géométrique de la portée et de l'altitude du sonar.

[0035] La figure 4 illustre l'axe de visée latérale ainsi que l'axe de visée dépointé du sonar.

[0036] La figure 5 illustre différents modes de réalisation de fourniture d'une évaluation anticipée du fond marin.

[0037] La figure 6 illustre le système selon l'invention.

[0038] La figure 7 illustre un mode de réalisation de classification de la cible.

[0039] Les figures 8 à 11 illustrent différents modes de réalisation permettant de mettre en œuvre un traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur.

[0040] Dans la figure 4, un sonar latéral 1 à antenne synthétique est monté sur un porteur sous-marin. En plus de sa capacité d'imagerie SAS latérale classique 6, le

sonar est capable de fournir une vue avant 7 ou « anticipée » du fond qui sera vue plus tard par l'imagerie latérale. Ainsi, le sonar est capable de fournir une imagerie, par un traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, d'un fond marin de la zone, selon un axe de visée latérale 8 qui est sensiblement perpendiculaire à la direction de déplacement 10 du porteur 1. De plus, il peut fournir une évaluation anticipée du fond marin, selon un axe de visée dépointé 9 par rapport à l'axe de visée latérale.

[0041] Sur la figure 4, le sonar est du type « monobord » (l'antenne n'est située que d'un côté du porteur) ; de préférence, le sonar peut être du type « bibord » (une antenne de chaque côté du porteur), ce qui permet d'augmenter la couverture horaire de la zone.

[0042] En fonction du résultat de la vue avant 7, le procédé prévoit soit une réduction de la vitesse du porteur en-dessous de la vitesse limite V_{maxSAS} (caractéristique du traitement cohérent), ce qui permet de maintenir le traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, soit un passage du traitement cohérent à un traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur, sans réduire la vitesse en-dessous de la vitesse limite V_{maxSAS} .

[0043] Ainsi, le procédé permet d'optimiser la couverture horaire, en régulant automatiquement la vitesse du sonar.

[0044] Comme l'illustre la figure 5, l'évaluation anticipée de l'environnement peut s'effectuer grâce à une ou plusieurs voies sonar pointées vers l'avant. Plusieurs modes de réalisation sont possibles pour réaliser cette vue avant.

[0045] Selon un premier mode de réalisation, illustré sur la partie de gauche de la figure 5, un unique émetteur 16 ayant une capacité de dépointage électronique peut être utilisé. Ce mode de réalisation a pour avantage d'être compatible avec les sonars à balayage électronique disponibles sur le marché. En variante, illustrée par la partie centrale de la figure 5, le sonar comprend un émetteur additionnel 12 dépointé mécaniquement vers l'avant (dépointage d'angle fixe). Selon une autre variante, illustrée par la partie droite de la figure 5, un émetteur 13 très large en émission peut être utilisé. Un premier sous-secteur 14 perpendiculaire à la direction de déplacement du porteur est utilisé pour l'imagerie par traitement cohérent, et un

deuxième sous-secteur 15, dirigé vers l'avant du porteur, est utilisé pour l'évaluation anticipée du fond marin.

[0046] Sur la figure 4, l'angle de dépointage, qui correspond à l'angle entre l'axe de visée latérale 8 et l'axe de visée dépointé 9, peut être ajustable. Un angle important permet de mieux anticiper les détections et d'avoir plus de temps de réaction. En contrepartie, l'image sera de moins bonne qualité. Un angle compris entre 30° et 45° est un bon compromis pour une bonne anticipation des détections, et une bonne qualité d'image.

[0047] La figure 6 illustre le système selon l'invention. Le système apte à mettre en œuvre le procédé selon l'invention comprend un bloc de formation de voies sonar 17, qui comprend une unité de traitement de voies SAS « classique » 18, et une unité d'imagerie 19 qui permet d'estimer l'environnement avant en temps réel.

[0048] L'unité de traitement de voies SAS « classique » 18 peut être configurée, par exemple, pour effectuer une mission de détection et de classification de cibles d'intérêt, en particulier dans un cadre de guerre des mines.

[0049] Le bloc de formation de voies 17 est capable de fournir deux solutions qui ne sont pas ou peu sensibles à la vitesse.

[0050] La première solution consiste à effectuer un traitement de voie dit « naturel », qui exploite uniquement la longueur de l'antenne physique.

[0051] Le traitement naturel est une formation de voies classique. Cette formation s'effectue, pour chaque direction d'observation souhaitée (i.e. pour chaque voie) en sommant les signaux reçus par les capteurs/hydrophones. Les signaux sont préalablement retardés en fonction de leur position dans l'espace afin de les mettre en phase avant sommation dans la direction d'écoute souhaitée.

[0052] Une deuxième solution consiste à appliquer un traitement dit incohérent, pour le secteur « broadside » (sensiblement perpendiculaire à l'axe de déplacement) et/ou pour le secteur vue avant.

[0053] Pour cela, un module de positionnement 21 estime le mouvement du porteur 1. Avantageusement, le module de positionnement 21 peut être une centrale inertielle. Les centrales inertielles sont capables de fournir des mesures sans dépendre de sources extérieures, et avec une fréquence de rafraîchissement élevée.

[0054] Le bloc de formation de voies sonar 17 effectue une compensation de chaque image reconstruite en fonction du mouvement du porteur, de façon à obtenir des images compensées.

[0055] Pour le traitement SAS incohérent, les images acquises par le senseur 23 sont intégrées en amplitude. Ces images doivent donc être recalées avec une précision proche de la résolution des images (fixée généralement par la bande de fréquence). Pour estimer les mouvements permettant ce recalage, le bloc de formation de voies 17 peut utiliser les informations extraites du module de positionnement 21, comme décrit notamment dans [3]. Ainsi, le module de positionnement 21 est utilisé afin d'estimer les déplacements nécessaires pour le recalage du traitement incohérent.

[0056] Le traitement « SAS incohérent » est particulièrement avantageux car, en plus de sa performance, il est quasiment natif du traitement SAS « classique », à savoir qu'il suffit de remplacer une somme d'images complexes (SAS cohérent) par une somme d'images en amplitude (SAS incohérent).

[0057] Le passage du traitement cohérent à un traitement incohérent peut avantageusement être conditionné par le passage d'un coefficient de corrélation μ sous une valeur seuil, le coefficient de corrélation étant obtenu par la corrélation des signaux d'antenne d'un ping à l'autre. Le coefficient de corrélation μ est donc calculé en calculant l'intercorrélation entre un ping et le ping suivant. En effet, lorsque la vitesse du porteur augmente au-delà de la vitesse limite V_{maxSAS} , plus aucun capteur ne se corrèle avec les autres capteurs, et le coefficient de corrélation μ baisse nettement. Dans ce cas, les images sont sommées en amplitude.

[0058] Pour rappel, pour un traitement SAS cohérent, les images doivent être intégrées (sommées) en phase. Cela signifie qu'il faut recalculer extrêmement précisément les images les unes par rapport aux autres. Par exemple, pour un sonar à 300 kHz, la longueur d'onde vaut 5 mm. Pour recalculer en phase les images, il faut compenser le mouvement avec une précision qui vaut une fraction de cette longueur d'onde, par exemple 0,5 mm ($1/10^{\text{ème}}$ de longueur d'onde). Ce recalage s'effectue par une méthode d'intercorrélation ping à ping (ou « P2C2 » pour « ping-to-ping cross-correlation »).

[0059] Ainsi, il suffit de se baser sur le coefficient de corrélation pour passer d'un mode à l'autre. Le traitement de formation de voies se placera automatiquement et systématiquement dans le meilleur mode possible (cohérent ou incohérent). Ainsi, un mode d'imagerie robuste à la vitesse est avantageusement créé.

[0060] Un exemple d'évaluation anticipée du fond marin est illustré par la figure 7. Sur cette image « avant » 25, un traitement de détection est ensuite effectué. L'objectif de ce traitement de détection peut être, par exemple, de détecter tous les objets 26 de taille mine. Cette détection peut s'effectuer par un traitement de type intelligence artificielle, ou bien par un traitement de détection des ombres, comme illustré par la figure 7. Les dimensions de ces ombres renseignent directement sur la largeur l et la hauteur h de l'objet, ce qui permet de vérifier ensuite que ces dimensions sont compatibles avec le type d'objet recherché.

[0061] Les détections passent ensuite dans un étage de classification, en utilisant des algorithmes de type ATR (Automatic Target Recognition) ou AuDC (Automatic Detection and Classification), bien connus de l'homme du métier. L'étage de classification, mis en œuvre par le bloc de formation de voies 17, associe la classification (par exemple mine/non mine) à la position de la détection, obtenue grâce au module de positionnement 21 et à l'information de pointage des voies sonar calculée dans le bloc de formation de voies 17.

[0062] Le système selon l'invention, illustré par la figure 6, comprend également un bloc d'autonomie décisionnelle 20, qui dispose, en entrée, des informations de détection/classification fournies par le bloc de formation de voies 17, et des informations de plan de mission et/ou de directive de mission, fournies par un système de commande, contrôle et communications 22 (système dit « C3 »). Le bloc d'autonomie décisionnelle 20 fournit au porteur, en sortie, une consigne de vitesse, un instant d'application de la consigne (pour gérer les contraintes d'accélération/décélération du véhicule), et une durée d'application de la consigne.

[0063] Pour simplifier la description, deux consignes de vitesse possibles sont définies :

- V_{high} : consigne de vitesse supérieure à la limite V_{maxSAS} imposée par le traitement SAS cohérent. La vitesse effective dépend des capacités du véhicule et des limites imposées par l'ouverture du lobe à l'émission.

- V_{low} : consigne de vitesse inférieure à la limite V_{maxSAS} imposée par le traitement SAS cohérent.

[0064] Selon un mode de réalisation, le bloc d'autonomie décisionnelle 20 détermine si la classification est considérée comme étant de « bonne » ou de « mauvaise » qualité. Le caractère « bon » ou « mauvais » peut avantageusement être fixé en fonction d'une note de qualité n_q qui est calculée par le produit d'une première probabilité P1 et d'une deuxième probabilité P2. La première probabilité est spécifique à l'algorithme utilisé pour la classification. Ainsi, la première probabilité P1 dépend de l'algorithme utilisé pour la classification (contraste signal à bruit, complexité de la forme de l'objet, taille de l'objet, approche statistique, etc.).

[0065] La deuxième probabilité P2 dépend de la résolution de l'image dépointée et des dimensions de la cible. Ainsi, un cylindre de deux mètres de long qui serait vu par le travers n'a pas besoin d'une résolution très fine pour être correctement classifié. Selon un mode de réalisation, la deuxième probabilité P2 peut s'appuyer sur le critère de Johnson, décrit plus en détail dans [4].

[0066] Ainsi, le fait d'utiliser la deuxième probabilité P2, dans le calcul de la note de qualité n_q , permet de tenir compte des caractéristiques « physiques » de la cible, telle que vue dans l'évaluation anticipée du fond marin.

[0067] La note de qualité n_q peut être comparée à un seuil s_q :

- si $n_q > s_q$, alors consigne de vitesse = V_{high}

- sinon consigne de vitesse = V_{low}

[0068] Le bloc d'autonomie décisionnelle 20 peut également tenir compte, dans la prise de décision de consigne de vitesse, des directives de mission issues du système C3 22.

[0069] En particulier, le système C3 22 peut transmettre, au bloc d'autonomie décisionnelle 20, une directive DirA de minimisation de la durée de la mission, au prix d'un plus grand risque (ce qui peut être utile dans une zone bien connue, par exemple une rade d'un port dans laquelle il est certain qu'aucune mine ne s'y trouve), ou une directive DirB de minimisation du risque, au prix d'une plus grande durée de mission (ce qui peut être utile dans une zone de guerre).

[0070] Ainsi, deux seuils peuvent être définis, un premier seuil s_A associé à la directive DirA, et deuxième seuil s_B associé à la directive DirB, avec la condition suivante : $s_A < s_B$.

[0071] La couverture horaire est donc plus élevée en cas de directive DirA en comparaison avec la directive DirB.

[0072] Les figures 8 à 11 illustrent différents modes de réalisation de l'invention.

[0073] Selon un premier mode de réalisation, illustré par la figure 8, le traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur est exécuté sous réserve que l'évaluation anticipée du fond marin détermine qu'une cible est située à une distance inférieure à la résolution du traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne.

[0074] En effet, selon le dimensionnement du sonar, il est possible qu'en début de portée, la résolution du traitement SAS incohérent, ou du traitement SAS naturel, soit égale à la résolution du traitement SAS cohérent. Cela se produit lorsqu'un seul et unique ping est utilisé en début de portée. Sur la portion de fond 27, qui correspond à une distance $d_{1\text{ping}}$ entre le sonar 1 et le fond, le traitement SAS cohérent n'apporte pas de gain de résolution. Ainsi, pour toute détection qui se produit à une distance inférieure à $d_{1\text{ping}}$, la consigne de vitesse peut être la consigne de vitesse supérieure V_{high} , supérieure à la limite V_{maxSAS} .

[0075] Selon un autre mode de réalisation, illustré par la figure 9, le traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur est exécuté si l'évaluation anticipée du fond marin comprend la détection d'une cible qui a déjà été imagée par traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne dans un rail distinct du rail actuel dans lequel se trouve le porteur.

[0076] En effet, le tracé prévu pour le sonar, composé de rails généralement parallèles entre eux, prévoit des recouvrements entre les rails, afin de combler des trous de couverture. Le bloc d'autonomie décisionnelle 20 ayant connaissance du plan de mission via le bloc C3 22, il est possible d'exploiter ce plan pour améliorer la couverture horaire.

[0077] Ainsi, le mode de réalisation consiste à ne pas prendre en compte une détection déjà traitée lors d'un rail précédent. Dans la figure 9, si la cible 28 a déjà été observée sur le rail 1, il n'est pas nécessaire de ralentir lors du rail 2. Ainsi, même s'il est établi qu'une cible 28 se trouve dans le rail 1, et nécessite un

traitement SAS cohérent, le bloc d'autonomie décisionnelle 20 peut transmettre une commande de passage du traitement cohérent à un traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur, sans réduire la vitesse en-dessous de la valeur seuil spécifique au traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne.

[0078] La figure 10 illustre un autre mode de réalisation. En supposant que, avec l'évaluation anticipée du fond marin, la cible 28 ait été détectée en fin de portée lors d'une première passe (premier rail 29) avec une qualité insuffisante ($n_q < s_q$), il serait donc nécessaire de ralentir le véhicule (consigne de vitesse = V_{low}), afin de fournir une imagerie par un traitement SAS cohérent.

[0079] Cependant, le bloc d'autonomie décisionnelle 20, qui dispose des informations de plan de mission transmise par le bloc C3 22, peut déterminer que la cible 28 sera revue en début de portée lors de la passe suivante (2^{ème} passe 30), et donc qu'il sera plus rapide d'y effectuer une imagerie par un traitement SAS cohérent. Ainsi, lors de la première passe, le bloc d'autonomie décisionnelle 20 peut décider de ne pas ralentir, et de conserver la consigne de vitesse au maximum V_{high} , supérieure à la vitesse limite V_{maxSAS} .

[0080] Ainsi, la réception d'un plan de mission définissant au moins deux rails, et une détermination de la distance entre le sonar et la cible durant l'évaluation anticipée, permet d'augmenter la couverture horaire du sonar.

[0081] La figure 11 illustre un autre mode de réalisation du procédé selon l'invention. Sur cette figure, les cibles 31-35 sont détectées et classifiées comme étant de bonne qualité, et la cible 36 est détectée et classifiée comme étant de mauvaise qualité.

[0082] Le procédé comprend avantageusement le calcul d'une fusion de notes de qualité, pour la pluralité de cibles détectées durant l'évaluation anticipée du fond marin. La commande (réduction de la vitesse ou passage du traitement cohérent à un traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur) est ensuite sélectionnée en fonction du résultat de la fusion. La fusion de notes correspond ainsi à un risque associé au groupe de cibles vues dans un créneau temporel par l'évaluation anticipée du fond marin.

[0083] Ce mode de réalisation est plus « risqué », car ce n'est pas nécessairement la consigne de vitesse inférieure V_{low} qui l'emporte sur la consigne de vitesse

supérieure V_{high} . Toutefois, le mode de réalisation permet d'augmenter la couverture horaire.

[0084] Avec N détections (cibles 31-36 sur la figure 11), la qualité globale s'exprime par la relation suivante :

$$[0085] \sqrt[N]{\prod_{x \in [1, N]} n_q(x)}$$

[0086] $n_q(x)$ correspond à la note de qualité n_q pour la détection « x », qui est calculée par le produit d'une première probabilité P1 et d'une deuxième probabilité P2, comme décrit précédemment.

[0087] La sélection de commande s'exprime ainsi :

$$[0088] \text{si } \sqrt[N]{\prod_{x \in [1, N]} n_q(x)} > s_\pi, \text{ alors consigne de vitesse} = V_{high}$$

[0089] sinon consigne de vitesse = V_{low}

[0090] s_π est un seuil prédéfini.

[0091] Les modes de réalisation précités peuvent être combinés, afin d'augmenter la couverture horaire du sonar.

[0092] Le procédé tel que décrit permet d'optimiser la couverture horaire d'un système existant au moyen d'une autonomie décisionnelle, tout en maîtrisant les performances globales. Le procédé possède l'avantage qu'il ne requiert pas de développer un nouveau système sonar spécifique, coûteux et complexe.

Références citées :

[0093] [1] A Putney, "Reconstruction of Under-sampled SAS Data Using the WIPE Algorithm", OCEANS 2005

[0094] [2] Shi YI, "A Method of SAS with Sparse Aperture Based on Compressive Sensing", IEEE 2020

[0095] [3] Michael P. Hayes et al., Synthetic Aperture Sonar: A Review of Current Status

[0096] [4] F. Langner et al., "Side Scan Sonar Image Resolution and Automatic Object Detection, Classification and Identification", OCEANS 2009-EUROPE

REVENDEICATIONS

1. Procédé d'amélioration de la couverture horaire d'un sonar (1) à formation de voies et configuré pour être embarqué sur un porteur dans une zone à imager afin de caractériser au moins une cible, le procédé comprenant les étapes de :

- fourniture d'une imagerie, par un traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, d'un fond marin de la zone, selon un axe de visée latérale (8) qui est sensiblement perpendiculaire à la direction de déplacement (10) du porteur ;
- fourniture d'une évaluation anticipée du fond marin, selon un axe de visée dépointé (9) par rapport à l'axe de visée latérale (8) ;
- sélection d'une commande parmi :

- une réduction de la vitesse du porteur (24) en-dessous d'une valeur seuil ($V_{\max SAS}$) spécifique au traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, en fonction de l'évaluation anticipée du fond marin, afin de maintenir le traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, ou

- un passage du traitement cohérent à un traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur, sans réduire la vitesse en-dessous de la valeur seuil ($V_{\max SAS}$) spécifique au traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur comprend un traitement dit incohérent, le traitement incohérent comprenant :

- une estimation du mouvement du porteur par un module de positionnement (21) ;
- une compensation de chaque image reconstruite en fonction du mouvement du porteur (24), de façon à obtenir des images compensées ;
- une sommation en amplitude des images compensées.

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le passage du traitement cohérent à un traitement incohérent est conditionné par le passage d'un coefficient de corrélation sous une valeur seuil, le coefficient de corrélation étant obtenu par la corrélation des signaux d'antenne d'un ping à l'autre.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la fourniture d'une évaluation anticipée du fond marin comprend les étapes de :

- acquisition de mesures selon l'axe de visée dépointé (9) par rapport à l'axe de visée latérale, de façon à obtenir une image dite dépointée ;
- détection de la cible dans l'image dépointée ;
- classification de la cible selon au moins un critère de classification, afin de déterminer si la cible est un objet d'intérêt ;

et dans lequel, si la classification est considérée comme étant de bonne qualité, le traitement cohérent passe au traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur, et si la classification est considérée comme étant de mauvaise qualité, la vitesse du porteur est réduite sous la valeur seuil spécifique au traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne.

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la classification de l'objet comprend une attribution d'une note de qualité (n_q), la note de qualité étant calculée par le produit d'une première probabilité ($P1$) et d'une deuxième probabilité ($P2$), la première probabilité ($P1$) étant spécifique à l'algorithme utilisé pour la classification, la deuxième probabilité ($P2$) dépendant de la résolution de l'image dépointée et des dimensions de la cible.

6. Procédé selon l'une des revendications 4 ou 5, comprenant un calcul d'une fusion de notes de qualité (n_q), pour une pluralité de cibles (31-36) détectées durant l'évaluation anticipée du fond marin, la commande étant sélectionnée en fonction du résultat de la fusion.

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur est exécuté sous réserve que l'évaluation anticipée du fond marin détermine qu'une cible est située à une distance inférieure à la résolution du traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne ($d_{1\text{ping}}$).

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur est exécuté si l'évaluation anticipée du fond marin comprend la détection d'une cible qui a déjà été imagée par traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne dans un rail distinct du rail actuel dans lequel se trouve le porteur.

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant les étapes de :

- réception d'un plan de mission définissant au moins un premier rail (R1) et un deuxième rail (R2) à emprunter par le porteur ;
- l'évaluation anticipée comprenant une détermination de la distance entre le sonar et la cible ;

la commande étant exécutée dans le premier rail (R1) en fonction de la distance entre le sonar et la cible dans le premier rail (R1) et dans le deuxième rail (R2).

10. Système configuré pour améliorer la couverture horaire d'un sonar à formation de voies et configuré pour être embarqué sur un porteur dans une zone à imager afin de caractériser au moins une cible, le système comprenant :

- un dispositif d'imagerie (18), par un traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, d'un fond marin de la zone, selon un axe de visée latérale qui est sensiblement perpendiculaire à la direction de déplacement du porteur ;
- un dispositif d'évaluation anticipée du fond marin (19), selon un axe de visée dépointé par rapport à l'axe de visée latérale ;
- un dispositif de sélection d'une commande (20) parmi :

- une réduction de la vitesse du porteur en-dessous d'une valeur seuil spécifique au traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, en fonction de l'évaluation anticipée du fond marin, afin de maintenir le traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne, ou

- un passage du traitement cohérent à un traitement d'antenne insensible à la vitesse du porteur, sans réduire la vitesse en-dessous de la valeur seuil spécifique au traitement cohérent d'ouverture synthétique d'antenne.