

Détection d'objets améliorée par une antenne synthétique

DESCRIPTION

Domaine de l'invention

[0001] La présente invention concerne le domaine de la détection d'objets à partir de signaux de capteurs. Plus spécifiquement, elle concerne la détection d'objets dans des signaux d'antennes synthétiques réalisée par la combinaison de mesures de distances en différents points.

Etat de l'art précédent

[0002] Un sonar est un dispositif de mesure extrêmement utilisé dans la navigation sous-marine, permettant de détecter/localiser des objets dans l'eau, ainsi que mesurer leur distance. Un sonar actif fonctionne de la manière suivante :

- une onde sonore est émise ;
- l'onde sonore est réfléchiée par les objets présents dans l'eau et les fonds marins ;
- les ondes sonores ainsi réfléchies sont captées en un point proche du point d'émission. Les différences de temps entre l'émission et la réception, et l'intensité de l'onde réfléchiée permettent de déterminer, la distance du point le plus proche (objet ou fond marin) dans une direction donnée ;
- les distances pour les différentes directions sont agrégées en une image sonar, représentant en fait les distances des points les plus proches du sonar dans les différentes directions.

[0003] La détection d'un objet dans une image sonar peut s'effectuer par la forme de l'écho de l'objet dans l'image, mais aussi grâce à son ombre, c'est-à-dire la forme de la portion du fonds marin qui n'est pas atteinte par l'onde sonore émise par le sonar, car elle est masquée par l'objet.

[0004] Afin d'améliorer la résolution d'un sonar, un système dit sonar à antenne synthétique peut être utilisé. Le sonar à antenne synthétique a pour but d'améliorer la résolution, à une portée donnée, sans augmenter la dimension linéaire physique de l'antenne de réception. Le principe du sonar à antenne synthétique consiste à

utiliser une antenne physique composite formée par un réseau linéaire de N transducteurs. Dans ce type de sonar, lors de l'avancement du porteur, un émetteur, ou antenne d'émission, émet M impulsions successives dans un secteur élémentaire fixe par rapport au porteur. On utilise les signaux reçus par les N transducteurs de l'antenne physique de réception à M instants, et donc à M emplacements successifs pour former les voies de l'antenne synthétique. La résolution des images obtenues, c'est-à-dire la résolution des voies des antennes synthétiques (en anglais « array beams resolution »), est sensiblement équivalente à celle d'une antenne virtuelle dont la longueur correspond à la longueur parcourue par l'antenne physique pendant ces M instants successifs.

[0005] Les sonars à antenne synthétique sont très utilisés, car ils permettent d'améliorer de manière importante la résolution des sonars, sans avoir à effectuer de modification matérielle.

[0006] Cependant, les ombres des objets perçues par sonars à antenne synthétique sont affectées d'un effet de pénombre, également appelé effet de parallaxe : les angles d'émission de l'onde et de réception des échos étant modifiés entre chacune des prises de vue, les directions des ombres sont modifiées entre chaque prise de vue. Lors de la génération de l'image synthétique, les ombres sont ainsi rendues floues.

[0007] Dans certains cas, par exemple lorsqu'un objet est étiré en hauteur, ou flottant entre deux eaux, l'ombre peut même devenir pratiquement indétectable. Cela peut par exemple être le cas d'un banc de poisson.

[0008] Un problème similaire peut être rencontré pour des antennes synthétiques d'autres types, c'est-à-dire des capteurs fonctionnant sur le principe d'une émission et une réception d'ondes en différents points, et la génération d'une image synthétique à partir des ondes réfléchies reçues dans les différents points. C'est par exemple le cas pour des radars à synthèse d'ouverture, ou certains types d'échographies.

[0009] Il y a donc besoin d'une détection améliorée, par des antennes synthétiques basées sur l'émission d'onde et la réception d'ondes réfléchies en différents points, d'objets dont l'ombre portée est soumise à des effets de pénombre.

Résumé de l'invention

[0010] A cet effet, l'invention a pour objet une méthode mise en œuvre par ordinateur comprenant : la réception d'une série de mesures de distances générées, depuis une pluralité de positions différentes respectivement, par un système de détection fonctionnant par : émission d'une onde ; réception d'ondes réfléchies par l'environnement ; détermination des distances, par calcul de différences entre le temps d'émission de l'onde et les temps de réception des ondes réfléchies ; la génération, à partir de ladite série de mesures de distance, d'une image synthétique représentant les distances de l'environnement par rapport à une position de référence ; pour chaque distance de focalisation d'une pluralité de distances de focalisation: la génération, à partir de ladite série de mesures de distance ou de ladite image synthétique, d'une image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation, par l'application d'une compensation des effets de pénombre ; une détection de présence d'un objet dans ladite image synthétique focalisée.

[0011] Avantageusement, le système de détection est un système de sonar, et la génération de l'image synthétique définit un sonar à antenne synthétique.

[0012] Avantageusement, la détection de présence d'un objet dans ladite image synthétique focalisée comprend l'application d'un moteur d'apprentissage machine supervisé entraîné avec une base d'apprentissage comprenant des images focalisées d'ombres d'objets du même type que ledit objet.

[0013] Avantageusement, la méthode comprend: préalablement à la détection: le calcul, pour chaque pixel de l'image synthétique focalisée, d'un ratio entre les intensités du pixel dans l'image synthétique et l'image synthétique ; le seuillage des pixels de l'image synthétique pour lequel ce ratio est supérieur à un seuil ; l'application d'une opération de morphologie mathématique sur les pixels seuillés ; l'application de ladite détection à la sortie de ladite opération de morphologie mathématique.

[0014] Avantageusement, la pluralité de distances de focalisation comprend une pluralité de distances de focalisation initiales définies par un premier pas de distance sur une première gamme de distances de focalisation, la méthode comprenant : une étape de définition d'une pluralité de distances de focalisation raffinées définies par : une deuxième gamme de distances de focalisation, plus étroite que la première, autour d'une première distance de focalisation de ladite pluralité de distances de focalisation initiales, à laquelle la présence d'un objet a été détectée ; un deuxième

pas de distance, inférieur au premier ; pour chaque distance de focalisation parmi ladite pluralité de distances de focalisation raffinées, ladite génération, à partir de ladite série de mesures de distance, d'une image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation, par l'application d'une compensation des effets de pénombre.

[0015] Avantageusement, l'étape de génération, à partir de ladite image synthétique, d'une image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation, par l'application d'une compensation des effets de pénombre s'effectue en appliquant un filtre à une dimension à l'image synthétique.

[0016] Avantageusement, la méthode selon la revendication 1 comprend: la génération d'une image synthétique focalisée modifiée en ajoutant à ladite image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation une ombre associée à un label ; la génération d'une image synthétique modifiée en appliquant un filtre inverse dudit filtre à une dimension à l'image synthétique focalisée modifiée ; l'enrichissement d'une base d'apprentissage pour la détection de présence d'objet avec l'image synthétique focalisée modifiée, ladite distance de focalisation et ledit label.

[0017] Avantageusement, la méthode comprend, en cas de détection de présence d'un objet dans ladite image synthétique focalisée, une génération d'une image composite à partir de ladite image synthétique et de ladite image synthétique focalisée.

[0018] Avantageusement, ladite génération de l'image composite comprend : une détection d'ombres dans l'image synthétique focalisée ; l'affectation pour chaque pixel de l'image composite : de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique focalisée pour chaque pixel appartenant à une ombre ; de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique, dans le cas contraire.

[0019] Avantageusement, ladite génération de l'image composite comprend l'affectation pour chaque pixel de l'image composite, d'une valeur d'intensité égale à la somme pondérée de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique focalisée, et de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique, où, pour chaque pixel, le poids relatif de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique focalisée croît avec un indice d'appartenance à une ombre du pixel.

[0020] Avantageusement, la méthode comprend la définition d'une région d'intérêt de l'image synthétique, dans laquelle les étapes : de génération, à partir de ladite série de mesures de distance, d'une image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation, par l'application d'une compensation des effets de pénombre et ; de détection de présence d'un objet dans ladite image synthétique focalisée sont exécutées dans la région d'intérêt uniquement.

[0021] Avantageusement, la région d'intérêt de l'image synthétique comprend : l'affichage de l'image synthétique sur une interface graphique; le tracé, par un utilisateur, d'un rectangle définissant la région d'intérêt.

[0022] Avantageusement, la méthode comprend l'affichage de l'image focalisée ou composite à l'intérieur dudit rectangle.

[0023] L'invention a également pour objet un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code informatique qui, lorsque le programme est exécuté sur un ordinateur, conduisent celui-ci à exécuter la méthode selon l'un des modes de réalisation de l'invention.

[0024] L'invention a également pour objet un système de traitement de données comprenant un processeur configuré pour mettre en œuvre la méthode selon l'un des modes de réalisation de l'invention.

[0025] L'invention a également pour objet un support d'enregistrement lisible par ordinateur comprenant des instructions qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, conduisent celui-ci à mettre en œuvre la méthode selon l'un des modes de réalisation de l'invention.

Liste des figures

[0026] 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 et qui représentent, respectivement :

[0027] [Fig.1] un exemple de génération d'un flot d'images sonar à antenne synthétique pouvant servir de base à une détection d'objets dans un ensemble de modes de mise en œuvre de l'invention ;

[0028] [Fig.2a] un premier exemple d'ombre d'une image sonar pouvant être utilisée par une méthode selon un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[0029] [Fig.2b] un deuxième exemple d'ombre d'une image sonar pouvant être utilisée par une méthode selon un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[0030] [Fig.3] un exemple d'effet de pénombre pouvant être compensé dans le cadre d'un mode de réalisation de l'invention ;

[0031] [Fig.4a] un premier exemple de méthode mise en œuvre par ordinateur dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[0032] [Fig.4b] un second exemple d'une méthode dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[0033] [Fig.5] un exemple d'application d'une compensation des effets de pénombre dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention ;

[0034] [Fig.6] un exemple d'interface graphique permettant de définir une région d'intérêt, et d'afficher l'image synthétique focalisée ou l'image composite dans cette région d'intérêt.

Description détaillée

[0035] L'invention sera illustrée par des exemples relatifs à une détection d'objets par un sonar à antenne synthétique. Cependant, elle est plus généralement applicable à tout type d'antenne synthétique basé sur l'émission d'ondes en différents points, la réception d'ondes réfléchies, et la génération d'une image synthétique à partir des ondes réfléchies.

[0036] La figure 1 représente un exemple de génération d'un flot d'images sonar à antenne synthétique pouvant servir de base à une détection d'objets dans un ensemble de modes de mise en œuvre de l'invention.

[0037] Dans cet exemple, un sonar S, monté sur un véhicule, se déplace le long d'une trajectoire arbitraire bien que généralement rectiligne au-dessus du fond marin. A intervalles réguliers, S émet une impulsion qui permet d'imager le fond sur un axe de visée qui vise généralement sur le côté de la trajectoire. On note $\vec{X}_n$ la position 110 du sonar lors de la impulsion, $\vec{r}_n$ le vecteur unitaire 120 donnant la direction de pointage du sonar, et $\vec{x}_n$ le vecteur tangentiel 130 à la trajectoire du véhicule à la $n^{\text{ième}}$ impulsion émise.

[0038] L'impulsion est décrite comme la fonction complexe p , fonction soit du temps de vol t de l'impulsion, soit de la portée r au sonar au moment de l'émission, les deux

variables étant liées par la relation $r = c \times t$ où c est la célérité acoustique. L'impulsion est en bande étroite, modulant une porteuse de longueur d'onde λ .

[0039] Le principe de fonctionnement du sonar à antenne synthétique sera expliqué en prenant pour exemple une cible (c'est-à-dire un point dont on cherche à savoir s'il est occupé ou non) A quelconque, fixe, de la scène, dont la position est notée $\vec{A}$.

[0040] Le sonar S est formé d'une antenne d'émission et d'une antenne de réception. L'antenne d'émission est configurée pour émettre de l'énergie selon un lobe d'antenne. Par exemple, les lobes 141 et 142 représentent respectivement les lobes d'antenne de l'antenne d'émission pour les impulsions d'indice $n - 1$ et $n - 2$. Le lobe d'antenne est d'ouverture β dans le plan horizontal et d'ouverture suffisamment grande en gisement pour éclairer une grande zone sur le fond de l'eau. Si ce lobe est suffisamment large, l'objet A peut être visible sur plusieurs impulsions consécutives, avec un maximum d'énergie lorsque le point est exactement dans l'axe de visée du sonar.

[0041] En supposant que A soit la seule cible, on modélise le signal acoustique brut reçu par le sonar à la $n^{ième}$ impulsion, pour la portée r , comme étant :

$$s^{raw}(n, r) = K(\vec{r}_n, \vec{X}_n \vec{A}) p(r - \|\vec{X}_n \vec{A}\|) e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} \|\vec{X}_n \vec{A}\|} G(|\angle(\vec{r}_n, \vec{X}_n \vec{A})|)$$

(Equation 1)

[0042] Avec :

- j le nombre imaginaire ;
- K un terme de bilan de liaison lié à la distance entre le sonar et la cible ainsi que la nature de la cible ;
- G une fonction de gain liée à l'antenne et à la valeur absolue de l'angle formé par le vecteur $\vec{r}_n$ et le vecteur $\vec{X}_n \vec{A}$. Cette fonction de gain est maximale quand l'angle est nul, et décroît vers zéro quand l'angle dépasse l'ouverture β . Par la suite, pour simplifier, on suppose que le gain est unitaire si la valeur absolue de l'angle est plus petit que β et nul sinon (le sonar n'éclaire significativement que dans un angle β) ;
- $\angle$ symbole du calcul d'un angle entre deux vecteurs.

[0043] En réalité la scène est composée d'une multitude de cibles 160. Le processus d'intégration en antenne synthétique est réalisé en fur et à mesure des impulsions de

la manière suivante : à l'impulsion émise numéro n , on génère une grille de points de référence uniformément espacés par un pas $\delta r * \vec{r}_n$ sur l'axe orthogonal à la trajectoire et un pas $\delta x * \vec{x}_n$ sur l'axe de la trajectoire, l'ensemble des cibles est donc défini par :

$$\{P_n(s, k) = s. \delta r. \vec{r}_n + k. \delta x. \vec{x}_n\}, s = 0..s_{max}, k = -\infty..+\infty$$

(Equation 2)

[0044] Dans laquelle s_{max} est choisi par rapport à la portée maximale du sonar.

[0045] A indice k fixé, les points $\{P_n(s, k)\}$ forment ce que l'on appelle la « k -ème voie de l'impulsion n » (« the k^{th} beam of ping n ») 160 ; les coordonnées k et s sont respectivement nommées indice de la voie (en anglais « beam index »), et indice d'échantillon. Les points $\{P_n(s, k)\}$ points sont des cibles fictives de référence.

[0046] On sélectionne ensuite un sous-ensemble de voies (en anglais « beams ») $K_n = \{k_{n,min} ... k_{n,max}\}$, tel que les points de ces voies, soient ceux qui présentent un gain plus important à l'impulsion n , (par rapport à la position et l'attitude du sonar à cette impulsion), que le gain obtenu pour ces mêmes points de l'espace à la position et l'attitude du sonar à toute autre impulsion (autrement dit, ce sont les points que l'on peut le mieux imager à l'impulsion n).

[0047] Pour chaque point (s, k) , $k \in K_n$, on détermine $I(n, s, k)$, l'intervalle des impulsions, où $P_n(s, k)$ est éclairé significativement par le sonar, comme:

$$I(n, s, k) \triangleq \{m \in \mathbb{N} \mid |\angle(\vec{r}_m, \overrightarrow{X_m P_n}(s, k))| < \beta\}$$

(Equation 3)

[0048] L'intégration en antenne synthétique pour le point $\overrightarrow{P_n}(i, k)$ est alors réalisée en réalisant la somme cohérente des signaux bruts obtenus pour ce point, pour toutes les impulsions où celui-ci peut être perçu par le sonar :

$$s^{SAS}(\overrightarrow{X_n P_n}(s, k)) = s^{SAS}(n, s, k) = \sum_{m \in I(n, s, k)} e^{\frac{j2\pi}{\lambda} \|\overrightarrow{X_m P_n}(s, k)\|} s^{RAW}(m, \|\overrightarrow{X_m P_n}(s, k)\|)$$

(Equation 4)

[0049] La donnée $s^{SAS}(n, s, k)$ pour les voies $K_n = \{k_{n,min} ... k_{n,max}\}$, est nommée « antenne SAS » pour l'impulsion n , «SAS» étant l'acronyme anglo-saxon pour «Synthetic Aperture Sonar», ou «Sonar à ouverture synthétique» en français.

L'équation 4 est connue sous le nom d'équation de rétropropagation généralisée (en anglais «generalized backpropagation»).

[0050] On définit ensuite une fonction $w^{SAS}(i,b)$, appelée "waterfall", telle que:

$$\begin{cases} b(n,k) = k + \sum_{m=0}^{n-1} |K_m| \\ w^{SAS}(s, b(n,k)) = s^{SAS}(n, s, k) \end{cases}$$

(Equation 5)

[0051] Dans laquelle la notation $|K_m|$ désigne le cardinal de l'ensemble K_m . Le waterfall peut être vu comme une image 2D complexe, l'axe des indices de voies b étant nommé l'axe azimutal et l'axe des indices i étant l'axe radial. On peut également paramétrer le waterfall en distance oblique $r = s \times \delta r$ et en abscisse curviligne $x = b \times \delta x$.

[0052] La figure 2a représente un premier exemple d'ombre d'une image sonar pouvant être utilisée par une méthode selon un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0053] La figure 2b représente un deuxième exemple d'ombre d'une image sonar pouvant être utilisée par une méthode selon un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0054] Les ombres sont des éléments qui, dans une image SAS, contribuent grandement à la compréhension de la scène par des opérateurs ou la détection automatique d'objets. En effet, par la nature même du processus d'imagerie, il apparaît que les échos sont relativement tassés sur l'axe des distances obliques, ce qui nuit grandement à la reconnaissance des formes par un opérateur humain ou un algorithme automatique. Au contraire, lorsque les ombres sont étendues, elles permettent de deviner la forme de l'objet.

[0055] Les figures 2a et 2b représentent deux exemples de perception d'ombres par une image sonar. Elles représentent respectivement deux scènes 210a, 210b sur le fonds marin 211, ainsi que deux images sonar 220a, 200b de ces deux scènes respectivement.

[0056] Ces deux scènes représentent respectivement un objet 212a posé sur le fond marin, et un objet 212b, de même dimension, flottant entre deux eaux et attaché au

fonds marin par un câble 213b (orin) attaché à une base 214b (crapaud, en anglais « sinker »). L'image est réalisée par un sonar situé au point 230.

[0057] Dans le cas de la scène 210a, le sonar percevra l'écho 221a, et l'ombre 222a de l'objet 212a. Dans le cas de la scène 210b, le sonar percevra l'écho 221b de l'objet 212b, du câble 213b et de la base 214b, ainsi que l'ombre 222b de l'objet 212b et du câble 213b.

[0058] Les ombres sont donc définies comme des zones pour lesquelles aucun écho n'est perçu, car elles sont masquées par un objet. On constate sur les figures 2a et 2b que, à taille identique, dans le cas d'un objet flottant entre deux eaux (en anglais « midwater »), la taille de l'ombre est significativement supérieure.

[0059] La figure 3 représente un exemple d'effet de pénombre pouvant être compensé dans le cadre d'un mode de réalisation de l'invention.

[0060] Un effet de pénombre, ou de parallaxe, est obtenu lorsqu'une cible n'est éclairée que lors d'une partie des prises de vues d'un sonar à antenne synthétique.

[0061] Par exemple, dans le cas de la figure 3, une cible A peut être masquée par un objet T. Par exemple :

- A l'itération n-2, le sonar est situé à la position $\overrightarrow{X_{n-2}}$ 310, et perçoit toutes les cibles situées dans le cône grisé 311 ;
- A l'itération n-1, le sonar est situé à la position $\overrightarrow{X_{n-1}}$ 320, et perçoit toutes les cibles situées dans le cône grisé 321 ;
- A l'itération n, le sonar est situé à la position $\overrightarrow{X_n}$ 330, et perçoit toutes les cibles situées dans le cône grisé 331 ;
- A l'itération n+1, le sonar est situé à la position $\overrightarrow{X_{n+1}}$ 340, et perçoit toutes les cibles situées dans le cône grisé 341.

[0062] La cible A est donc éclairée par le sonar aux itérations n-2 et n+1, mais ni à l'itération n-1 ni à l'itération n. La figure 3 montre également que l'ombre portée de l'objet T varie en fonction de l'angle de prise de vue. Ceci signifie en pratique que, lors de l'intégration en antenne synthétique les ombres ne seront pas nettes, mais floues et affectées d'un effet de pénombre.

[0063] Cet effet de pénombre peut rester acceptable pour un objet proche du fond marin, tel que l'objet 212a en figure 2a, mais devenir problématique pour un objet

étiré en longueur, ou flottant entre deux eaux (en anglais « midwater » ou « floating near the surface », tel que l'objet 212b en figure 2b. Dans ce cas, l'ombre vue par le sonar à antenne synthétique peut être trop floue ou déformée pour pouvoir reconnaître l'objet.

[0064] La figure 4a représente un premier exemple de méthode mise en œuvre par ordinateur dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0065] La méthode 400a est une méthode mise en œuvre par ordinateur ayant pour but de détecter des objets soumis à des effets de pénombre dans des mesures issues d'antennes synthétiques.

[0066] La méthode 400a comprend une première étape 410 de réception d'une série de mesures de distances générées, depuis une pluralité de positions différentes respectivement, par un système de détection à antenne synthétique fonctionnant par : émission d'une onde; réception d'ondes réfléchies par l'environnement ; détermination des distances, par calcul de différences entre le temps d'émission de l'onde et les temps de réception des ondes réfléchies.

[0067] La méthode 400a est ainsi applicable à toute antenne synthétique basée sur l'émission d'ondes en différents points, et la réception d'ondes réfléchies. Elle est par exemple applicable à des sonars à antenne synthétique, radars à antenne synthétique, ou scanners.

[0068] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, le système de détection est un système de sonar formant un sonar à antenne synthétique.

[0069] La méthode 400a comprend ensuite une étape 420 de génération, à partir de ladite série de mesures de distance, d'une image synthétique représentant les distances de l'environnement par rapport à une position de référence.

[0070] Cette étape consiste à former une image synthétique des distances, pour une position donnée. Par exemple, dans l'exemple représenté en figure 1, les mesures effectuées aux temps $n-2$, $n-1$, n , $n+1$ et $n+2$ peuvent être intégrées pour générer une image sonar pour la position 110 à l'instant n .

[0071] Cette image synthétique sera simplement appelée « image synthétique », par opposition aux « images synthétiques focalisées » introduites dans la suite de ce document. Elle pourra également être appelée « image synthétique de référence ».

[0072] La méthode 400a comprend ensuite, pour chaque distance de focalisation d'une pluralité de distances de focalisation :

- une étape 430 de génération, à partir de ladite série de mesures de distances ou de ladite image synthétique, d'une image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation, par l'application d'une compensation des effets de pénombre ;
- une étape 440 de détection de présence d'un objet dans ladite image synthétique focalisée.

[0073] Dit autrement, pour chaque distance d'un ensemble de distances de focalisation donné, la méthode 400a va, à l'étape 430, générer une image synthétique focalisée à la distance voulue, puis, à l'étape 440, détecter la présence d'un objet dans l'image synthétique focalisée.

[0074] L'étape 430 permet d'obtenir une image synthétique, pour laquelle les ombres situées à la distance étudiée sont nettes. Ceci permet donc, à l'étape 440, d'effectuer une détection d'objets à partir d'une image où les ombres sont nettes à une distance donnée, et donc d'améliorer la détection d'objets.

[0075] Les étapes 430 et 440 peuvent être itérées pour chaque distance de la pluralité de distances. Des ombres nettes peuvent donc être obtenues pour la détection, pour toutes les distances souhaitées.

[0076] La méthode 400a permet ainsi une détection d'objets améliorée dans des images synthétiques issues d'antennes synthétiques soumises à effet de pénombre.

[0077] Pour l'étape 430, différentes méthodes de compensation des effets de pénombre, ayant pour effet de produire des ombres nettes à une distance donnée, peuvent être utilisées.

[0078] Par exemple, la compensation des effets de pénombre est réalisée par une méthode dite « FFSE » (de l'anglais « Fixed Focus Shadow Enhancement », décrite par exemple par Groen, J., Hansen, R. E., Callow, H. J., Sabel, J. C., & Sabo, T. O. (2008). Shadow enhancement in synthetic aperture sonar using fixed focusing. *IEEE journal of oceanic engineering*, 34(3), 269-284. Cette méthode est présentée dans la présente publication dans le cas d'un véhicule sous-marin se déplaçant sur une trajectoire rectiligne, avec un sonar visant à 90° de la trajectoire. Dans ce cas, l'application de la FFSE consiste à remplacer l'équation d'intégration de sonar à antenne synthétique par l'équation suivante, pour une distance r_t d'un objet :

$$s^{SAS}(\overrightarrow{X_n P_n}(s, k)) = s_{r_T}^{FFSE}(n, s, k) = \sum_{m \in I(n, s, k)} e^{\frac{j2\pi}{\lambda} \|\overrightarrow{X_m P_n}(t, k)\|} s^{RAW}(m, \|\overrightarrow{X_m P_n}(s, k)\|)$$

avec $t = \left\lfloor \frac{r_T}{\delta r} \right\rfloor$
(Equation 6)

[0079] Dans ce cas, l'image associée à un point $P_n(s, k)$ devient floue, mais la transition entre l'image et l'ombre est nette. Cette opération revient à focaliser à la distance r_T tous les points situés plus loin dans la portée, d'où le terme « Fixed Focus ». Le waterfall, ou image synthétique associé à l'image FFSE possède la même définition (i.e nombre de pixels et résolution) que le waterfall, ou image synthétique du sonar à antenne synthétique.

[0080] Une autre méthode possible de compensation de pénombre est la méthode dite HVPC (acronyme anglais signifiant « High Variant Phase Compensation, en français compensation de phase à forte variance). L'algorithme HVPC peut conceptuellement être vu comme un raffinement de FFSE en prenant en compte la hauteur de l'objet ayant généré l'ombre. Cette hauteur peut être déterminée de différentes manières, par exemple être déterminée par interférométrie, ou par un sonar tiers, tel qu'un sonar volumique. La hauteur de l'objet ayant généré l'ombre peut également être obtenue par trigonométrie à partir de la longueur de l'ombre projetée sur le fond par l'objet et connaissant l'altitude du sonar (et éventuellement la bathymétrie locale, déterminée par interférométrie ou par un sonar dédié).

[0081] La figure 5 représente un exemple d'application d'une compensation des effets de pénombre dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0082] Deux images d'une scène de fonds marin représentant une épave de navire sont représentées dans la figure 5.

[0083] A gauche, l'image 510 est obtenue par un sonar à antenne synthétique. Dans cette image, l'épave 511, et l'ombre 512 générée par l'épave, sont floues.

[0084] A droite, l'image 520 est obtenue par le même sonar à antenne synthétique, et a de plus bénéficié de l'application d'une méthode de compensation de pénombre, dans cet exemple la FFSE, paramétrée par la distance entre le point de référence de la prise de vue et l'épave. Dans cette image, l'épave 521 et l'ombre 522 générée par l'épave sont devenues nettes.

[0085] Cet exemple démontre la capacité d'une méthode de compensation des effets de pénombre à générer des ombres nettes pour une distance donnée d'obstacle

dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention. L'ombre ainsi obtenue, beaucoup plus nette, pourra ainsi être utilisée pour effectuer des détections d'objets de manière plus efficace.

[0086] Selon différents modes de réalisation de l'invention, la pluralité de distances de focalisation peut être obtenue de différentes manières. Par exemple, une pluralité de distances prédéfinies peut être utilisée. Les distances peuvent être définies par l'application d'un pas de distance sur une gamme donnée. Le pas de distance peut être défini de manière à s'assurer qu'une ombre suffisamment nette sera obtenue pour toutes les distances possibles dans la gamme.

[0087] Les distances de focalisation peuvent par exemple être définies comme des distances régulièrement espacées d'un pas Δ_1 sur une gamme de distance $[r_{min}; r_{max}]$, c'est-à-dire que les distances de focalisation sont définies par l'ensemble $\{r_{min}; r_{min} + \Delta_1; r_{min} + 2 * \Delta_1 \dots r_{max}\}$. Les paramètres r_{min} , r_{max} et Δ_1 peuvent être définis de différentes manières. Par exemple, dans un ensemble de modes de réalisation :

- $r_{min} = 2 * w_{min} * \frac{\delta_x}{\lambda}$, avec :
 - o w_{min} la largeur minimale des objets à détecter ;
 - o δ_x la résolution du sonar ;
 - o λ la longueur d'onde d'émission du sonar ;
- r_{max} la portée maximale du sonar ;
- $\Delta_1 = \frac{r_{min}}{2}$.

[0088] Les valeurs de r_{min} et r_{max} peuvent également être définies en fonction des hauteurs minimale et maximale attendues des objets, ainsi que de leur distances minimale et maximale attendues. En effet les hauteurs et distance minimales et maximales permettent d'identifier les distances minimale et maximale des ombres portées pour les objets. Les valeurs de r_{min} et r_{max} peuvent ainsi être définies comme les distances minimale et maximale de focalisation auxquelles on s'attend à identifier une ombre dans le reste de la portée sonar.

[0089] De manière plus générale, les valeurs r_{min} et r_{max} peuvent être définies pour déterminer les distances minimale et maximale de focalisation auxquelles il est pertinent de rechercher une ombre portée, permettant ainsi de limiter le calcul aux

distances auxquelles une ombre pourrait être identifiée. Par exemple r_{max} peut être définie comme le minimum entre la portée maximale du sonar, et la distance maximale de focalisation à laquelle on s'attend à identifier une ombre dans le reste de la portée sonar.

[0090] Ces valeurs fournissent un bon compromis entre un objectif de limitation du nombre de distances de focalisation à tester (et donc de la complexité de calcul), et un objectif d'efficacité de la détection. En effet, la distance r_{min} correspond à une distance en dessous de laquelle l'effet de parallaxe n'est pas significatif, et les objets peuvent être détectés directement, sans traitement ; r_{max} est la portée maximale du sonar, la détection d'ombres au-delà de cette distance n'a donc pas de sens ; $\Delta_1 = \frac{r_{min}}{2}$ est un bon compromis de granularité pour les distances de focalisation. Ces paramètres permettent donc de tester l'ensemble de la gamme des distances pertinentes, tout en limitant la complexité de la méthode.

[0091] Selon différents modes de réalisation de l'invention, l'étape 440 de détection de la présence d'un objet dans l'image synthétique focalisée peut être réalisée de différentes manières.

[0092] De manière générale, toute méthode de détection de forme d'ombre peut être utilisée. Par exemple, une méthode d'apprentissage machine, pouvant par exemple comprendre l'utilisation de réseaux de neurones artificiels et/ou de deep learning, peut être utilisée.

[0093] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, la détection de présence d'un objet dans ladite image synthétique focalisée comprend l'application d'un moteur d'apprentissage machine supervisé entraîné avec une base d'apprentissage comprenant des images focalisées d'ombres d'objets du même type que ledit objet.

[0094] Le moteur d'apprentissage machine supervisé peut ainsi avoir été entraîné avec une base d'entraînement formée d'ombres focalisées de l'objet souhaité. Par exemple, si la méthode a pour but de détecter la présence de bancs de poissons, un moteur d'apprentissage machine supervisé peut avoir été entraîné avec une base de données d'images focalisées d'ombres de bancs de poissons.

[0095] Un tel moteur d'apprentissage machine supervisé présente l'avantage de pouvoir être entraîné pour détecter n'importe quel type d'objet, et de fournir une détection très efficace.

[0096] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, la méthode comprend :

- préalablement à la détection :
 - o le calcul, pour chaque pixel de l'image synthétique focalisée, d'un ratio $I_r(b, s)$ entre les intensités du pixel de l'image synthétique et de l'image synthétique focalisée ;
 - o le seuillage des pixels de l'image synthétique pour lequel ce ratio $I_r(b, s)$ est supérieur à un seuil ;
 - o l'application d'une opération de morphologie mathématique sur les pixels seuillés ;
- l'application de ladite détection à la sortie de ladite opération de morphologie mathématique.

[0097] Si un pixel appartient à une ombre à la distance de focalisation, il sera plus sombre dans l'image focalisée, donc sa valeur d'intensité dans l'image synthétique focalisée sera inférieure à sa valeur d'intensité dans l'image synthétique. Par conséquent le ratio de la valeur d'intensité dans l'image synthétique divisée par la valeur d'intensité dans l'image synthétique focalisée sera supérieur à 1. Ce pixel sera donc retenu comme potentiel pixel d'ombre avant application de la morphologie mathématique. Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, le seuil retenu est cependant supérieur à 1, pour éviter la génération de fausses alertes.

[0098] Autrement dit, pour chacune des distances de focalisation, l'étape 440 peut comprendre, préalablement à la détection elle-même, un pré-traitement consistant dans un premier temps à seuiller les pixels correspondant à une ombre, puis ne conserver que les ombres significatives. La détection elle-même, par exemple l'application d'un moteur d'apprentissage machine supervisé, s'applique alors uniquement à ces pixels appartenant à des ombres significatives.

[0099] Ceci permet de rendre la détection plus robuste, en limitant la détection aux ombres les plus significatives à une distance de focalisation donnée.

[0100] Une fois la détection effectuée, celle-ci peut être effectuée de différentes manières. A titre d'exemple non limitatif :

- Une alerte peut être levée ;
- L'image synthétique associée à la détection peut être présentée à un opérateur ;
- L'image peut être stockée dans une banque d'image ;
- Etc...

[0101] Plus généralement, la détection automatique d'objets est utilisable dans de nombreux domaines, et toute action associable à une détection automatique d'image peut être implémentée à l'issue de la détection.

[0102] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, les images synthétiques focalisées sont générées, pour chaque distance de focalisation, directement à partir de la série de mesures de distance. Par exemple, dans le cas d'une application d'une FFSE à des mesures issues d'un sonar, cela signifie que la technique du FFSE est appliquée directement, pour chaque distance de focalisation, aux signaux capteurs formant les voies SAS (en anglais « for SAS beamforming »).

[0103] Si cette solution fournit naturellement une solution pour obtenir les images focalisées, elle peut s'avérer coûteuse en temps de calcul lorsque des images synthétiques focalisées doivent être obtenues pour un grand nombre de distances de focalisation.

[0104] Afin de limiter la complexité calculatoire, dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, l'étape de génération, à partir de ladite image synthétique, d'une image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation, par l'application d'une compensation des effets de pénombre s'effectue en appliquant un filtrage en une dimension à l'image synthétique.

[0105] Ainsi, l'étape coûteuse de génération d'une image synthétique à partir des mesures de distance est réalisée une unique fois, toutes les images synthétiques focalisées sont ensuite obtenues par un filtrage 1 dimension, beaucoup moins gourmand en ressources.

[0106] Cette méthode de calcul des images synthétiques focalisées va maintenant être décrite dans un exemple d'application à des images sonar utilisant la FFSE.

[0107] Dans le cas d'une orientation du sonar à 90° sur une trajectoire linéaire, étant donné le waterfall SAS $w^{SAS}(b, s)$ obtenu par le processus SAS avec échantillonnage

à un pas δx sur l'axe azimutal (plus fin que la résolution physique de l'antenne synthétique) et un pas δr sur l'axe distal, l'image FFSE peut être obtenue à un coefficient multiplicatif constant près, à partir dudit waterfall par le filtrage adapté 1D (1 dimension) (c'est-à-dire une corrélation 1D), sur chaque colonne d'indice s constante, par le signal suivant décrit dans le domaine spatial et centré autour de $b = 0$:

$$h_{rt}^{APFFSE}(b, s) = K \cdot p^2(b) e^{j \frac{4\pi f_0}{c_0} \left(\sqrt{(s \cdot \delta r)^2 + (b \cdot \delta x)^2} - \sqrt{r_t^2 + (b \cdot \delta x)^2} \right)}$$

(Equation 7)

[0108] Avec :

- $s = \left\lfloor \frac{r}{\delta r} \right\rfloor$;
- $b = \left\lfloor \frac{x}{\delta x} \right\rfloor$;
- K une constante multiplicative de normalisation ;
- $p(b)$, une fonction d'apodisation, pouvant être à titre d'exemple non limitative à une gaussienne :

$$p(b, s, \beta) = \exp \left(- \frac{(b \cdot \delta x)^2}{2 \left(\alpha \cdot s \cdot \delta r \cdot \tan \left(\frac{\beta}{2} \right) \right)^2} \right)$$

(Equation 8)

- α un paramètre de réglage, par exemple $\alpha = 1$;
- β l'ouverture angulaire de l'émetteur.

[0109] Cette fonction d'apodisation a pour but de limiter le support spatial du filtre au domaine spatial où la cible à la portée $s \cdot \delta r$ est éclairée, cet éclairage se faisant sur une longueur d'écart-type typique $s \cdot \delta r \cdot \tan \left(\frac{\beta}{2} \right)$. Ce résultat peut être généralisé au cas où le dépointage n'est plus de 90° au prix d'une légère complexification des équations. Dans ce cas, il faut en effet considérer un angle de dépointage θ_s et prendre en compte ce dépointage pour le calcul du filtre de convolution h_{rt}^{APFFSE} ou spectral H_{rt}^{APFFSE} . La formulation exacte va dépendre de la géométrie de voies (en anglais « beam geometry ») de l'image synthétique formée, et implique l'ajout de termes en $\cos(\theta_s)$ et $\sin(\theta_s)$ dans les formulations de h_{rt}^{APFFSE} et H_{rt}^{APFFSE} .

[0110] L'application de la FFSE, pour obtenir une image synthétique focalisée, peut alors se faire par filtrage 1D du waterfal, que l'on peut implémenter par la corrélation 1D pour chaque colonne s :

$$w'(b, s) = (h_{rt}^{APFFSE} \star w^{SAS})(b, s)$$

(Equation 9)

[0111] De manière équivalente cette opération peut être implémentée par un produit dans le domaine spectral :

$$W'(\xi, s) = W_s^{SAS}(\xi, s) \times H_{rt}^{APFFSE}(\xi, s)$$

(Equation 10)

[0112] Où $W_s^{SAS}(\xi, s)$, $H_{rt}^{APFFSE}(\xi, s)$ et $W'(\xi, s)$ désignent les transformées de Fourier selon b (soit sur l'axe azimutal x) respectivement du waterfall SAS de référence $w^{SAS}(b, s)$, du filtre FFSE $h_{rt}^{APFFSE}(b, s)$ et du waterfall refocalisé $w'(b, s)$.

[0113] La refocalisation des voies SAS, c'est-à-dire la transformation de l'image synthétique en image synthétique focalisée peut ainsi s'effectuer en :

- réalisant la transformée du Fourier $W_s^{SAS}(\xi, s)$ des voies de l'image $w^{SAS}(b, s)$;
- multipliant cette transformée de Fourier par le filtre $H_{rt}^{APFFSE}(\xi, s)$, stockant le résultat dans $W'(\xi, s)$;
- réalisant la transformée de Fourier inverse de $W'(\xi, s)$ pour obtenir les voies refocalisées $w'(b, s)$ de l'image.

[0114] La refocalisation peut ainsi être appliquée sur une image SAS déjà formée et être exécutée efficacement par l'intermédiaire de transformées de Fourier rapide (FFT, de l'acronyme anglais signifiant "Fast Fourier Transform", en français "Transformée de Fourier Rapide"). La focalisation peut donc s'effectuer de manière rapide et peu coûteuse sur de nombreuses distances de focalisation.

[0115] Il est également possible d'effectuer l'opération inverse, c'est-à-dire de passer d'une image synthétique focalisée (par exemple une image focalisée FFSE) à une image synthétique (par exemple image SAS de référence), en convoluant l'image synthétique focalisée par le filtre inverse $h_{rt}^{APFFSE^{-1}}$, ce qui revient à faire une division par $H_{rt}^{APFFSE}(\xi, s)$ dans le domaine spectral.

[0116] Dans un ensemble de modes de réalisation, cette opération peut être utilisée pour enrichir une base de données d'apprentissage pour la détection d'objets.

[0117] A cet effet, dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, la méthode 400 comprend :

- la génération d'une image synthétique focalisée modifiée en ajoutant à ladite image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation une ombre associée à un label ;
- la génération d'une image synthétique modifiée en appliquant un filtre inverse dudit filtre en une dimension à l'image synthétique focalisée modifiée ;
- l'enrichissement d'une base d'apprentissage pour la détection de présence d'objet avec l'image synthétique focalisée modifiée, ladite distance de focalisation et ledit label.

[0118] Dit autrement, une ombre nette correspondant à un objet connu est ajoutée à une image focalisée à la distance de focalisation, puis le filtrage 1D inverse est appliqué pour retrouver une image synthétique de référence (par exemple image SAS de référence) comprenant l'ombre non focalisée. Cette image est ajoutée à une base d'entraînement pour la détection de présence d'objet, avec un label de l'objet (définissant le type de l'objet), et la distance de focalisation. Ainsi, la combinaison de l'image synthétique modifiée, la distance de focalisation et le label correspondant au type d'objet permet d'entraîner la détection d'objets, à différentes distances de focalisations (on sait alors à quelles distances focalisation l'objet dudit type doit être détecté ou non)

[0119] Ceci permet de construire de manière efficace une base d'entraînement, puisque cela offre la possibilité de générer de nombreuses images pour la base d'entraînement, avec de nombreuses images d'ombres, pour de nombreuses distances de focalisation. Cela permet donc d'entraîner de manière efficace et rapide la détection d'objets, par exemple en entraînant un moteur d'apprentissage supervisé pour la détection d'objet. Cela limite également le besoin d'obtenir des images réelles, ce qui simplifie considérablement la constitution de la base d'entraînement.

[0120] La figure 4b représente un second exemple d'une méthode dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention.

[0121] La méthode 400b comprend toutes les étapes de la méthode 400a, ainsi que trois étapes optionnelles 450b, 460b et 470b. Il convient de noter que, si les trois

étapes sont représentées sur la figure 4b, les trois étapes 450b, 460b et 470b peuvent être exécutées de manière indépendante. Selon différents modes de réalisation de l'invention, une méthode selon l'invention peut donc comprendre ces trois étapes, aucune d'entre elles, ou n'importe quelle combinaison de ces trois étapes.

[0122] A l'étape 460b, les distances de focalisation sont affinées, c'est-à-dire que des distances de focalisation sont testées de manière plus fine autour d'une distance considérée comme pertinente.

[0123] Ainsi, dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, la pluralité de distances de focalisation comprend une pluralité de distances de focalisation initiales définies par un premier pas de distance sur une première gamme de distances de focalisation, et la méthode comprenant :

- une étape 460b de définition d'une pluralité de distances de focalisation raffinées définies par :
 - o une deuxième gamme de distances de focalisation, plus étroite que la première, autour d'une première distance de focalisation de ladite pluralité de distances de focalisation initiales, à laquelle la présence d'un objet a été détectée ;
 - o un deuxième pas de distance, inférieur au premier ;
- pour chaque distance de focalisation parmi ladite pluralité de distances de focalisation raffinées :
 - o l'étape 430 de génération, à partir de ladite série de mesures de distance, d'une image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation, par l'application d'une compensation des effets de pénombre.

[0124] Dit autrement, des distances de focalisation initiales peuvent être l'ensemble des distances d'une gamme $[r_{min}; r_{max}]$ avec un pas grossier Δ_1 (c'est-à-dire que les distances initiales sont définies par l'ensemble $\{r_{min}; r_{min} + \Delta_1; r_{min} + 2 * \Delta_1 \dots r_{max}\}$; une première distance de focalisation r_{fest} est sélectionnée parmi les distances de focalisation, puis une gamme de distances raffinées est définie autour de la première distance de focalisation r_{fest} à laquelle la présence d'un objet a été détectée, avec un pas plus fin $\Delta_2 < \Delta_1$. Par exemple, les distances de focalisation raffinées peuvent être sélectionnées avec le pas Δ_2 sur l'intervalle $[r_{fest} - \Delta_1; r_{fest} + \Delta_1]$.

[0125] Ensuite, l'étape 430 de focalisation est exécutée pour chaque distance de focalisation raffinée.

[0126] Ceci permet de tester les distances de focalisation avec un pas plus fin autour d'une distance de focalisation à laquelle la présence d'un objet a été détectée, et ainsi de permettre une focalisation à une distance potentiellement plus proche de la distance de l'objet.

[0127] Ceci permet d'obtenir des résultats précis tout en limitant la charge de calcul nécessitée par la méthode, puisque les distances de focalisation sont testées avec un pas grossier sur l'ensemble de la gamme possible, mais avec un pas plus fin pour une gamme de distances de focalisation d'intérêt.

[0128] Ainsi, la première distance de focalisation est une distance de focalisation pour laquelle la présence d'un objet a été détectée.

[0129] Dit autrement, dès qu'un objet est détecté à l'étape 440, un raffinement des distances de focalisation est effectué autour de la distance de focalisation ayant abouti à la détection de l'objet.

[0130] Ceci permet d'affiner la détection des objets, autour des distances générant une détection, donc autour des distances les plus pertinentes pour détecter les objets.

[0131] Dans ce cas, le raffinement peut être qualifié d'« autofocus » (terme anglais signifiant « focus automatique »), car cela consiste à déterminer automatiquement la distance de focalisation produisant les ombres les plus nettes.

[0132] Différents indices de netteté peuvent être utilisés. A titre d'exemple non limitatif, les métriques introduites par A. Buffington, F.S. Crawford, R.A. Muller, A.J. Schwemin and R.C. Smits, « Correction of atmospheric distortion with an image - sharpening telescope », *Jour. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 67, n°3, pp. 298-303, March 1977. peuvent être utilisées.

[0133] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, la méthode 400b comprend en cas de détection de présence d'un objet dans ladite image synthétique focalisée, une étape 470b de génération d'une image composite à partir de ladite image synthétique et de ladite image synthétique focalisée.

[0134] En effet, comme évoqué plus haut, l'image synthétique focalisée permet d'obtenir des échos et ombres nettes pour une distance de focalisation donnée, mais

en floutant le reste de l'image. Au contraire, l'image synthétique non focalisée est plus nette sur l'ensemble de l'image, mais présente l'effet de pénombre. L'image composite réalisée à partir de l'image synthétique, et de l'image synthétique focalisée pourra donc en même temps être globalement nette sur l'ensemble de l'image, et ne pas présenter d'effet de pénombre mais au contraire des ombres nettes à la distance de focalisation.

[0135] L'étape 470b de compositage permet donc d'obtenir une image la plus pertinente possible à présenter à un opérateur, où les ombres sont nettes à une distance de focalisation donnée, sans sacrifier la netteté du reste de l'image.

[0136] Cette étape peut être réalisée de différentes manières.

[0137] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, l'étape 470b de génération de l'image composite comprend :

- une détection d'ombres dans l'image synthétique focalisée ;
- l'affectation pour chaque pixel de l'image composite :
 - o de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique focalisée pour chaque pixel appartenant à une ombre ;
 - o de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique, dans le cas contraire.

[0138] Dit autrement, les ombres sont détectées dans l'image synthétique focalisée, et les pixels de l'image composite sont issus :

- de l'image synthétique focalisée, pour les pixels appartenant à une ombre ;
- de l'image synthétique, pour les autres.

[0139] Ceci fournit une solution simple et efficace pour obtenir une image composite dont les ombres sont nettes sans sacrifier la qualité générale de l'image.

[0140] D'autres manières de générer l'image composite peuvent être envisagées.

[0141] Par exemple, dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, ladite génération de l'image composite comprend l'affectation pour chaque pixel de l'image composite, d'une valeur d'intensité égale à la somme pondérée de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique focalisée, et de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique, où, pour chaque pixel, le poids relatif de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique focalisée croît avec un indice d'appartenance à une ombre du pixel.

[0142] Ainsi, dans ce cas, les valeurs des intensités de pixels ne sont pas sélectionnées exclusivement dans une image ou l'autre, mais définies comme une moyenne pondérée des valeurs d'intensités dans les deux images, où le poids relatif de l'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique focalisée est d'autant plus important que le pixel est considéré comme appartenant à une ombre.

[0143] Ceci permet de bénéficier de la netteté de l'ombre issue de l'image synthétique focalisée, tout en bénéficiant d'une transition plus progressive entre les ombres et le reste de l'image.

[0144] Le poids relatif des pixels issus des deux images (synthétique et synthétique focalisée) peut être calculé de différentes manières. Par exemple, un filtre passe-bas peut être appliqué à l'image synthétique focalisée. Le filtre passe bas permet en effet de déterminer efficacement les pixels faisant partie d'une ombre ou non.

[0145] Par exemple, si l'image synthétique est notée $I_A(b, s)$, l'image synthétique focalisée $I_B(b, s)$, l'image composite $I_C(b, s)$, et la distance de focalisation considérée r_T , alors l'image composite peut être générée de la manière suivante :

- Pour tous les pixels correspondant à une zone plus proche que r_T ($s \cdot \delta r < r_T$), ne pouvant par définition pas correspondre à une ombre générée par un objet à cette distance r_T , la valeur du pixel sera issue de l'image synthétique : $I_C(b, s) \leftarrow I_A(b, s)$

- Pour les autres pixels (c'est-à-dire ceux tels que $s \cdot \delta r \geq r_T$) :

- On calcule m_a la moyenne de $I_A(b, s)$ et m_b la moyenne de $I_B(b, s)$ pour tous les b, s ;
- On génère I_{LP} une image filtrée passe-bas de $|I_B|$ par un filtre de support B voies et S échantillons, B et S étant des paramètres de réglage du filtre. On note m_{LP} la moyenne de I_{LP} ;

- On génère pour chaque pixel un poids $w_C(b, s) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{20 \log_{10} |I_{LP}(b, s)| - T}{\tau}}}$ où est T est un seuil d'ombre en dB et τ est un paramètre de réglage du filtre (pondération log-sigmoïdale) ;

- On calcule $I_C(b, s) \leftarrow \left(\frac{w_C(b, s)}{m_A} I_A(b, s) + \frac{1 - w_C(b, s)}{m_B} I_B(b, s) \right) \times m_A$

[0146] Ainsi, chaque pixel de l'image composite est une moyenne pondérée des pixels correspondants des images synthétique et synthétique focalisée, accordant plus de poids à l'image synthétique focalisée dans les zones d'ombre, et plus de poids à l'image synthétique dans les autres zones, tout en assurant une transition en douceur entre ces deux types de zones.

[0147] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, la méthode 400b comprend la définition 450b d'une région d'intérêt de l'image synthétique, et les étapes 430 de génération de l'image synthétique focalisée et 440 de détection d'objet ne sont effectuées que dans la région d'intérêt.

[0148] Ceci permet de limiter la complexité de la méthode, car les étapes 430 et 440 ne sont exécutées que sur une région d'intérêt considérée comme pertinente.

[0149] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, la région d'intérêt comprend l'ensemble de l'image à partir de la distance de focalisation. Dans d'autres modes de réalisation de l'invention, la région d'intérêt comprend uniquement une sous-partie de l'image, issue d'un découpage en blocs de voies de l'image totale ou définie par un utilisateur par exemple.

[0150] La figure 6 représente un exemple d'interface graphique permettant de définir une région d'intérêt, et d'afficher l'image synthétique focalisée ou l'image composite dans cette région d'intérêt.

[0151] Dans un ensemble de modes de réalisation de l'invention, la définition de la région d'intérêt de l'image synthétique comprend :

- l'affichage de l'image synthétique sur une interface graphique 610, 620 ;
- le tracé, par un utilisateur, d'un rectangle 621 définissant la région d'intérêt.

[0152] La figure 6 représente deux états successifs 610, 620 d'une telle interface graphique.

[0153] Dans un premier état 610, l'interface graphique représente une image synthétique, ou waterfall d'un sonar. Dans cette représentation, la portée est définie par l'axe horizontal : les pixels les plus à droite correspondent aux points les plus éloignés du capteur ; les voies sont définies par l'axe vertical : les points les plus bas correspondent aux voies acquises aux dates les plus anciennes et les points les plus hauts les voies acquises aux dates les plus récentes.

[0154] L'utilisateur peut, dans l'interface, déclencher la définition de la région d'intérêt, par exemple en appuyant sur un bouton 630, et déclencher le compositage, par exemple en appuyant sur le bouton 631. Ces boutons ne sont cependant fournis qu'à titre d'exemple uniquement, et d'autres moyens peuvent être utilisés pour déclencher la définition de la région d'intérêt et/ou le compositage, tels que par exemple des raccourcis clavier ou des commandes vocales.

[0155] Dans l'exemple de la figure 6, lorsque le bouton 630 est activé par l'utilisateur, l'interface graphique passe dans une étape 620, où apparaît un rectangle 621 matérialisant la région d'intérêt :

- Le bord vertical gauche du rectangle 621 matérialise la portée la plus courte couverte par la région d'intérêt ;
- Le bord vertical droit du rectangle 621 matérialise la portée la plus longue couverte par la région d'intérêt ;
- Le bord horizontal supérieur du rectangle 621 matérialise les voies les plus récentes couvertes par la région d'intérêt ;
- Le bord horizontal inférieur du rectangle 621 matérialise les voies les plus anciennes couvertes par la région d'intérêt.

[0156] L'utilisateur peut ainsi, dans cet exemple, définir manuellement la région d'intérêt directement sur l'image synthétique. L'utilisateur peut modifier la région d'intérêt en modifiant le rectangle, par exemple par des modifications du rectangle effectuées à l'aide d'un curseur mobile (pouvant par exemple être manipulé par une interface d'entrée telle qu'une souris ou un capteur tactile) : l'utilisateur peut par exemple tirer un coin, glisser un bord, ou en effectuer un glissé-déposé de l'ensemble du rectangle.

[0157] Dans un mode de réalisation de l'invention, la méthode 400b comprend l'affichage de l'image synthétique focalisée ou l'image composite à l'intérieur dudit rectangle.

[0158] Dans l'exemple de la figure 6, l'image composite est générée pour la région d'intérêt définie par le rectangle 621, et affichée directement dans ce rectangle.

[0159] Ceci permet à l'utilisateur de visualiser directement l'effet de la focalisation sur l'image.

[0160] L'image composite peut être générée et affichée lorsque l'utilisateur appuie sur le bouton 631, ou effectue une autre commande de compositage (raccourci clavier, commande vocale, etc).

[0161] Alternativement, le compositage et l'affichage peuvent être effectués en temps réel, à l'affichage du rectangle 621, et dès que l'utilisateur modifie le rectangle 621. Ceci permet à l'utilisateur de visualiser en temps réel le résultat de la focalisation et du compositage.

[0162] Dans l'exemple de la figure 6, la focalisation et la détection d'ombre est paramétrée par une portée de référence r_T matérialisée par la ligne 622, qui peut également être déplacée par l'utilisateur pour modifier le paramétrage. Comme pour le rectangle 621, un déplacement de la ligne 622 peut entraîner la ré-exécution en temps réel de la focalisation, de la détection d'ombre, du compositage et de l'affichage de l'image synthétique focalisée ou composite. La portée de référence r_T peut être affichée 623 à l'utilisateur.

[0163] Ainsi, l'utilisateur, peut, en temps réel, modifier les paramètres de révélation d'ombres, et visualiser le résultat obtenu.

[0164] Les exemples ci-dessus démontrent la capacité de l'invention à améliorer la détection d'objets dans des images issues d'une antenne synthétique. Ils ne sont cependant donnés qu'à titre d'exemple et ne limitent en aucun cas la portée de l'invention, définie dans les revendications ci-dessous.

REVENDEICATIONS

1. Méthode mise en œuvre par ordinateur (400a, 400b) pour détecter des objets soumis à des effets de pénombre, la méthode comprenant :

- la réception (410) d'une série de mesures de distances générées, depuis une pluralité de positions différentes respectivement, par un système de détection sonar comprenant une antenne synthétique, le système de détection fonctionnant par :
 - o émission d'une onde ;
 - o réception d'ondes réfléchies par l'environnement ;
 - o détermination des distances, par calcul de différences entre le temps d'émission de l'onde et les temps de réception des ondes réfléchies ;
- la génération (420), à partir de ladite série de mesures de distance, d'une image synthétique par ladite antenne synthétique, l'image synthétique représentant les distances de l'environnement par rapport à une position de référence ;
- pour chaque distance de focalisation d'une pluralité de distances de focalisation :
 - o la génération (430), à partir de ladite série de mesures de distance ou de ladite image synthétique, d'une image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation, par l'application d'une compensation des effets de pénombre ;
 - o une détection (440) de présence d'un objet dans ladite image synthétique focalisée.

2. Méthode selon la revendication 1, dans laquelle la détection de présence d'un objet dans ladite image synthétique focalisée comprend l'application d'un moteur d'apprentissage machine supervisé entraîné avec une base d'apprentissage comprenant des images focalisées d'ombres d'objets du même type que ledit objet.

3. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant :

- préalablement à la détection :
 - o le calcul, pour chaque pixel de l'image synthétique focalisée, d'un ratio entre les intensités du pixel dans l'image synthétique et l'image synthétique ;
 - o le seuillage des pixels de l'image synthétique pour lequel ce ratio est supérieur à un seuil ;
 - o l'application d'une opération de morphologie mathématique sur les pixels seuillés ;

- l'application de ladite détection à la sortie de ladite opération de morphologie mathématique.

4. Méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la pluralité de distances de focalisation comprend une pluralité de distances de focalisation initiales définies par un premier pas de distance sur une première gamme de distances de focalisation, la méthode comprenant :

- une étape (460b) de définition d'une pluralité de distances de focalisation raffinées définies par :

- o une deuxième gamme de distances de focalisation, plus étroite que la première, autour d'une première distance de focalisation de ladite pluralité de distances de focalisation initiales, à laquelle la présence d'un objet a été détectée ;
- o un deuxième pas de distance, inférieur au premier ;

- pour chaque distance de focalisation parmi ladite pluralité de distances de focalisation raffinées, ladite génération (430), à partir de ladite série de mesures de distance, d'une image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation, par l'application d'une compensation des effets de pénombre.

5. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes dans laquelle l'étape de génération, à partir de ladite image synthétique, d'une image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation, par l'application d'une compensation des effets de pénombre s'effectue en appliquant un filtre à une dimension à l'image synthétique.

6. Méthode selon la revendication 1, comprenant :

- la génération d'une image synthétique focalisée modifiée en ajoutant à ladite image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation une ombre associée à un label ;

- la génération d'une image synthétique modifiée en appliquant un filtre inverse dudit filtre à une dimension à l'image synthétique focalisée modifiée ;

- l'enrichissement d'une base d'apprentissage pour la détection de présence d'objet avec l'image synthétique focalisée modifiée, ladite distance de focalisation et ledit label.

7. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant, en cas de détection de présence d'un objet dans ladite image synthétique focalisée, une génération (470b) d'une image composite à partir de ladite image synthétique et de ladite image synthétique focalisée.

8. Méthode selon la revendication 7, dans laquelle ladite génération de l'image composite comprend :

- une détection d'ombres dans l'image synthétique focalisée ;
- l'affectation pour chaque pixel de l'image composite :
 - o de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique focalisée pour chaque pixel appartenant à une ombre ;
 - o de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique, dans le cas contraire.

9. Méthode selon la revendication 7, dans laquelle ladite génération de l'image composite comprend l'affectation pour chaque pixel de l'image composite, d'une valeur d'intensité égale à la somme pondérée de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique focalisée, et de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique, où, pour chaque pixel, le poids relatif de la valeur d'intensité du pixel correspondant de l'image synthétique focalisée croît avec un indice d'appartenance à une ombre du pixel.

10. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant la définition (450b) d'une région d'intérêt de l'image synthétique, dans laquelle les étapes :

- de génération, à partir de ladite série de mesures de distance, d'une image synthétique focalisée à ladite distance de focalisation, par l'application d'une compensation des effets de pénombre et ;
- de détection de présence d'un objet dans ladite image synthétique focalisée sont exécutées dans la région d'intérêt uniquement.

11. Méthode selon la revendication 10, dans laquelle la définition de la région d'intérêt de l'image synthétique comprend :

- l'affichage de l'image synthétique sur une interface graphique (610, 620) ;
- le tracé, par un utilisateur, d'un rectangle (621) définissant la région d'intérêt.

12. Méthode selon la revendication 10, dépendant d'une des revendications 7 à 9, comprenant l'affichage de l'image focalisée ou composite à l'intérieur dudit rectangle.

13. Produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code informatique qui, lorsque le programme est exécuté sur un ordinateur, conduisent celui-ci à exécuter la méthode selon l'une des revendications 1 à 12.

14. Système de traitement de données comprenant un processeur configuré pour mettre en œuvre la méthode selon l'une des revendications 1 à 12.

15. Support d'enregistrement lisible par ordinateur comprenant des instructions qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, conduisent celui-ci à mettre en œuvre la méthode selon l'une des revendications 1 à 12.