(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 073 292**

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **17 01143**

(51) Int Cl[8] : ***G 01 S 19/01*** *(2018.01)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 07.11.17.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 10.05.19 Bulletin 19/19.

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

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

◯ **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *THALES Société anonyme* — FR.

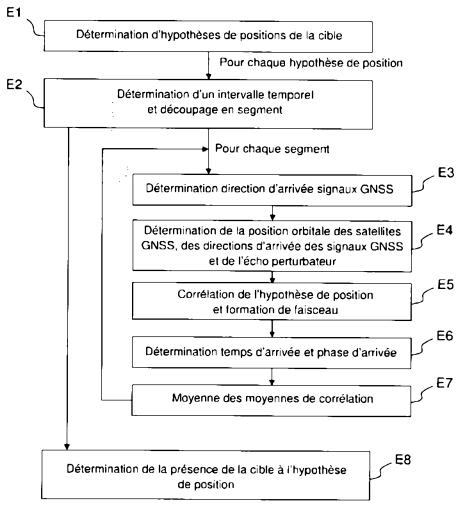
(72) **Inventeur(s) :** CALMETTES THIBAUD, CARRIE GUILLAUME et MONNERAT MICHEL.

(73) **Titulaire(s) :** THALES Société anonyme.

(74) **Mandataire(s) :** MARKS & CLERK FRANCE Société en nom collectif.

(54) PROCEDE DE DETECTION DE CIBLE PAR REFLECTOMETRIE GNSS ET SYSTEME ASSOCIE.

(57) Procédé itératif de détection par au moins un satellite récepteur en orbite d'une cible possédant des caractéristiques de réflexion différentes de celles de la surface sur laquelle elle se trouve, par réflectométrie GNSS, dans lequel les signaux GNSS réfléchis sont reçus par une antenne active du satellite récepteur comprenant une pluralité d'éléments d'antenne, comprenant une étape de détermination (E1) d'hypothèses de positions de la cible pour lesquelles on souhaite détecter la cible, et une formation de faisceaux et une poursuite des signaux GNSS en accord avec ces hypothèses.



FR 3 073 292 - A1

Procédé de détection de cible par réflectométrie GNSS et système associé

L'invention porte sur un procédé de détection d'une cible par réflectométrie GNSS.

On entend par cible un élément possédant des caractéristiques de réflexion différentes de celles de la surface sur laquelle il se trouve. Ces caractéristiques de réflexion différentes peuvent être dues, de manière non limitative, à une géométrie différente (e.g. pic de glace sur une étendue plane de glace) ou à une composition différente (e.g. structure métallique sur une étendue d'eau).

Les caractéristiques de réflexion peuvent être de type spéculaire ou diffuse, ou toute combinaison de celles-ci.

La réflectométrie GNSS est une technique de télédétection originale et opportuniste qui consiste à analyser les ondes électromagnétiques émises en continu par la soixantaine de satellites des systèmes de positionnement GNSS (GALILEO, GPS, GLONASS, ...), qui sont captées par une antenne après réflexion sur la surface de la Terre. Ces signaux interagissent avec la surface réfléchissante et contiennent donc des informations sur ses propriétés, que l'on peut observer dans le signal reçu après réflexion. Si la faisabilité et l'intérêt de cette méthode ne sont plus à démontrer, en particulier dans des domaines aéronautiques la mise en œuvre de cette technique pose un certain nombre de problèmes dans un contexte spatial.

Le GNSS est donc utilisé comme un radar, et reçoit l'écho après rebond sur la surface de la Terre, et de déduire de l'analyse de l'écho les caractéristiques de la surface.

C'est une alternative intéressante au radar, au moins pour des applications de faible coût, notamment parce qu'il n'est pas nécessaire de

payer la source (l'émetteur du radar, avec tout ce que ça coûte en termes de consommation), ainsi qu'elle est continûment disponible (pas besoin d'attendre la revisite du satellite ou du porteur du radar).

La réflectométrie GNSS est utilisée depuis plusieurs années, dans un cadre aéroporté, par exemple dans l'agriculture et la surveillance des forêts.

Cependant, le bilan de liaisons n'est pas suffisant pour une implémentation simple de réflectométrie GNSS sur des satellites classiques en orbites basse, dites LEO pour acronyme de "Low Earth Orbit" en langue anglaise, généralement considérées comme inférieures à 2000 km.

En l'espèce, une cible peut être un navire sur l'océan (petite surface de réflexion spéculaire au milieu d'une surface globalement en réflexion diffuse), une partie d'un pôle non couvert de glace (petite surface de réflexion diffuse au milieu d'une surface globalement en réflexion spéculaire).

Un but de l'invention est de pallier les problèmes précédemment cités.

Il est proposé, selon un aspect de l'invention, un procédé itératif de détection par au moins un satellite récepteur en orbite d'une cible possédant des caractéristiques de réflexion différentes de celles de la surface sur laquelle elle se trouve, par réflectométrie GNSS, dans lequel les signaux GNSS réfléchis sont reçus par une antenne active du satellite récepteur comprenant une pluralité d'éléments d'antenne, comprenant une étape de détermination d'hypothèses de positions de la cible pour lesquelles on souhaite détecter la cible, pour chaque hypothèse de position de la cible, on effectue les étapes de :

- détermination d'un intervalle temporel au cours duquel ladite hypothèse de position de la cible est visible du satellite récepteur, et découpage de cet intervalle temporel en segments temporels, pour chacun desquels on effectue les étapes de :

- détermination de la direction d'arrivée des signaux GNNS réfléchis issus de ladite hypothèse de position de la cible à partir de la position orbitale du satellite récepteur ;
- détermination de la position orbitale des satellites GNSS selon leurs éphémérides, puis des directions d'arrivée des signaux GNSS directs des satellites GNSS visibles sur un récepteur GNSS du satellite, et de l'écho perturbateur de réflexion spéculaire des signaux GNSS sur la surface sur laquelle se trouve la cible ;
- corrélation, pour chaque satellite GNSS visible, de l'hypothèse de position de la cible, sur le code GNSS correspondant à ce satellite GNSS, et formation de faisceaux par l'antenne active en maximisant le gain de l'antenne active du satellite récepteur dans la direction d'arrivée des signaux issus de l'hypothèse de position de la cible, et en minimisant le gain de l'antenne active dans les directions d'arrivée des signaux directs des satellites GNSS visibles sur le récepteur GNSS et de l'écho perturbateur de réflexion spéculaire sur ladite surface sur laquelle se trouve la cible ;
- détermination du temps d'arrivée et de la variation temporelle de la phase d'arrivée attendus des signaux GNSS potentiellement réfléchis sur la cible, et moyenne sur les satellites GNSS visibles de la corrélation sur le code GNSS pour les temps d'arrivée et variation temporelle de la phase d'arrivée, à partir de la position orbitale dudit satellite récepteur et de ses évolutions et des positions orbitales des satellites GNSS visibles de l'hypothèse de position de la cible et de leurs évolutions ; et
- moyenne sur les segments temporels desdites moyennes de corrélation sur les satellites GNSS ;
- détermination de la présence de la cible à l'hypothèse de position par comparaison de ladite moyenne sur les segments temporels avec une valeur de référence.

Ainsi, le procédé permet de pouvoir utiliser des signaux GNSS pour localiser une cible.

Dans un mode de mise en œuvre, la position orbitale du satellite récepteur est déterminée à partir d'un récepteur GNSS placé sur ledit satellite.

Ainsi, le satellite dispose non seulement d'un moyen de connaître sa position, mais également d'une capacité pour collecter les éphémérides des satellites GNSS nécessaires aux calculs géométriques permettant d'évaluer les géométries de réception et les variations temporelles des caractéristiques des signaux reçus.

Dans un mode de mise en œuvre, la valeur de référence de l'étape de détermination de la présence de la cible est prédéterminée.

Ainsi, il est possible d'identifier la présence d'une cible particulièrement réflexive (respectivement diffuse) par l'observation d'une forte (respectivement faible) cohérence des signaux reçus de cette direction. Cela peut notamment être utile dans un contexte expérimental, ou de début de fonctionnement de satellite, afin de fixer les sensibilités des algorithmes sur certains points connus.

Selon un mode de mise en œuvre, la valeur de référence de l'étape de détermination de la présence de la cible est adaptative.

Ainsi, il est possible d'adapter les seuils à l'environnement observé, par exemple définir des seuils de détections plus élevés dans les zones maritimes avec beaucoup de bateaux pour identifier seulement sans confusion des cibles plus grandes, et revenir à des seuils plus faibles pour détecter des cibles plus petites lorsque les risques de confusions sont moindres.

Dans un mode de mise en œuvre, la cible est un bateau sur une étendue d'eau.

En variante, la cible est une surface non couverte de glace à un Pôle de la Terre.

Il est également proposé, selon un autre aspect de l'invention, un système de détection par satellite en orbite d'une cible possédant des caractéristiques de réflexion différentes de celles de la surface sur laquelle elle se trouve, par réflectométrie GNSS, adapté pour mettre en œuvre le procédé selon l'une des revendications précédentes.

L'invention sera mieux comprise à l'étude de quelques modes de réalisation décrits à titre d'exemples nullement limitatifs et illustrés par le dessin sur lequel la figure 1 illustre schématiquement un mode de mise en œuvre du procédé selon un aspect de l'invention.

Le procédé itératif de détection par au moins un satellite récepteur en orbite d'une cible possédant des caractéristiques de réflexion différentes de celles de la surface sur laquelle elle se trouve, par réflectométrie GNSS, dans lequel les signaux GNSS réfléchis sont reçus par une antenne active du satellite récepteur comprenant une pluralité d'éléments d'antenne, comprenant une étape de détermination E1 d'hypothèses de positions de la cible pour lesquelles on souhaite détecter la cible, pour chaque hypothèse de position de la cible, on effectue les étapes de :

- détermination E2 d'un intervalle temporel au cours duquel ladite hypothèse de position de la cible est visible du satellite récepteur, et découpage de cet intervalle temporel en segments temporels, pour chacun desquels on effectue les étapes de :
  - détermination E3 de la direction d'arrivée des signaux GNSS réfléchis issus de ladite hypothèse de position de la cible à partir de la position orbitale du satellite récepteur ;
  - détermination E4 de la position orbitale des satellites GNSS selon leurs éphémérides, puis des directions d'arrivée des signaux GNSS directs des satellites GNSS visibles sur un récepteur GNSS du satellite, et de l'écho perturbateur de réflexion spéculaire des signaux GNSS sur la surface sur laquelle se trouve la cible ;
  - corrélation E5, pour chaque satellite GNSS visible, de l'hypothèse de position de la cible, sur le code GNSS correspondant à ce satellite GNSS, et formation de faisceaux par l'antenne active en maximisant le gain de l'antenne active du

satellite récepteur dans la direction d'arrivée des signaux issus de l'hypothèse de position de la cible, et en minimisant le gain de l'antenne active dans les directions d'arrivée des signaux directs des satellites GNSS visibles sur le récepteur GNSS et de l'écho perturbateur de réflexion spéculaire sur ladite surface sur laquelle se trouve la cible ;

- détermination E6 au niveau du satellite récepteur du temps d'arrivée et de la variation temporelle de la phase d'arrivée attendus des signaux GNSS potentiellement réfléchis sur la cible, et moyenne sur les satellites GNSS visibles de la corrélation sur le code GNSS pour les temps d'arrivée et variation temporelle de la phase d'arrivée, à partir de la position orbitale dudit satellite récepteur et de ses évolutions et des positions orbitales des satellites GNSS visibles de l'hypothèse de position de la cible et de leurs évolutions ; et
- moyenne E7 sur les segments temporels desdites moyennes de corrélation sur les satellites GNSS ;
- détermination E8 de la présence de la cible à l'hypothèse de position par comparaison de ladite moyenne sur les segments temporels avec une valeur de référence.

La présente invention repose notamment sur l'utilisation d'une antenne active à plusieurs faisceaux au niveau du satellite récepteur ou des satellites récepteurs, en orbites basses ou LEO. Dans le cas d'une pluralité de satellites il faut également gérer les communications entre les différents satellites. L'utilisation d'un seul satellite récepteur pourra donc être privilégiée.

L'utilisation d'une antenne active permet notamment d'avoir une recombinaison cohérente des signaux dans une direction déterminée, ou direction d'une cible potentielle, permettant d'améliorer le gain dans cette direction à proportion du nombre d'antennes utilisées pour la recombinaison des signaux, mais également une annulation des signaux dans des directions jugées interférentes, notamment dans la direction de la réflexion

spéculaire de chaque satellite GNSS pour se concentrer sur la réception des échos non spéculaires.

De plus, ces deux éléments pouvant être réalisés de manière dynamique et continue, adaptée aux déplacements relatifs des satellites GNSS, du satellite LEO porteur et des cibles (supposées fixes ou faiblement mouvantes) sur Terre, il est également possible d'augmenter le nombre de constellations utilisées, la formation de faisceau adaptative pouvant également être utilisée pour pallier les problèmes d'écho perturbateur de réflexion spéculaire des signaux GNSS sur la surface sur laquelle se trouve la cible ou "Near-Far effect" en langue anglaise, et d'augmenter les durées d'intégration (cohérente et/ou incohérente) et donc à nouveau gagner en sensibilité pour la détection de cibles.

La position orbitale du satellite récepteur peut être déterminée à partir du récepteur GNSS. Une évolution de position peut être calculée par une dérivée temporelle de la position.

La valeur de référence peut être prédéterminée ou adaptative.

La cible peut être un bateau sur une étendue d'eau ou une surface non couverte de glace à un Pôle de la Terre.

Le principe de l'invention est l'application d'une série de boucles imbriquées, appuyées sur les sorties de réception et de corrélations GNSS:
Pour chaque position sur Terre, définie par une maille fonction du signal GNSS de plus forte résolution (de plus grande largeur de bande) :

- Si elle est n'est pas visible : rien
- Si elle devient visible : début de l'intégration
- Si elle termine sa visibilité : décision sur la présence d'une cible
- Si elle est en cours de visibilité :
  - Pour chaque satellite GNSS :
    - Détermination du beamforming optimal permettant le pointage vers la réflexion sur cette source du signal émis par le satellite GNSS, et l'élimination du clutter de mer et des satellites

visibles susceptibles de créer un Near-Far effect, à hauteur de N-2 satellites éliminés avec N nombre d'antennes

- Détermination du temps et de la fréquence de réception attendues pour un tel signal réfléchi sur la cible d'après la position de la cible et les positions et vitesses des satellites LEO et GNSS
- Corrélation cohérente de la réplique GNSS pour ce signal réfléchi attendu après beamforming

- Accumulation sur tous les satellites GNSS

Un système selon l'invention de détection par satellite récepteur en orbite d'une cible possède des caractéristiques de réflexion différentes de celles de la surface sur laquelle elle se trouve, par réflectométrie GNSS, et est adapté pour mettre en œuvre le procédé selon l'une des revendications précédentes.

REVENDICATIONS

1. Procédé itératif de détection par au moins un satellite récepteur en orbite d'une cible possédant des caractéristiques de réflexion différentes de celles de la surface sur laquelle elle se trouve, par réflectométrie GNSS, dans lequel les signaux GNSS réfléchis sont reçus par une antenne active du satellite récepteur comprenant une pluralité d'éléments d'antenne, comprenant une étape de détermination (E1) d'hypothèses de positions de la cible pour lesquelles on souhaite détecter la cible, pour chaque hypothèse de position de la cible, on effectue les étapes de :

- détermination (E2) d'un intervalle temporel au cours duquel ladite hypothèse de position de la cible est visible du satellite récepteur, et découpage de cet intervalle temporel en segments temporels, pour chacun desquels on effectue les étapes de :
  - détermination (E3) de la direction d'arrivée des signaux GNNS réfléchis issus de ladite hypothèse de position de la cible à partir de la position orbitale du satellite récepteur ;
  - détermination (E4) de la position orbitale des satellites GNSS selon leurs éphémérides, puis des directions d'arrivée des signaux GNSS directs des satellites GNSS visibles sur un récepteur GNSS du satellite, et de l'écho perturbateur de réflexion spéculaire des signaux GNSS sur la surface sur laquelle se trouve la cible ;
  - corrélation (E5), pour chaque satellite GNSS visible, de l'hypothèse de position de la cible, sur le code GNSS correspondant à ce satellite GNSS, et formation de faisceaux par l'antenne active du satellite récepteur en maximisant le gain de l'antenne active dans la direction d'arrivée des signaux issus de l'hypothèse de position de la cible, et en minimisant le gain de l'antenne active dans les directions d'arrivée des signaux directs des satellites GNSS visibles sur le récepteur GNSS et de l'écho perturbateur de réflexion spéculaire sur ladite surface sur laquelle se trouve la cible ;

- détermination (E6) du temps d'arrivée et de la variation temporelle de la phase d'arrivée attendus des signaux GNSS potentiellement réfléchis sur la cible, et moyenne sur les satellites GNSS visibles de la corrélation sur le code GNSS pour les temps d'arrivée et variation temporelle de la phase d'arrivée, à partir de la position orbitale dudit satellite récepteur et de ses évolutions et des positions orbitales des satellites GNSS visibles de l'hypothèse de position de la cible et de leurs évolutions ; et
- moyenne (E7) sur les segments temporels desdites moyennes de corrélation sur les satellites GNSS ;

- détermination (E8) de la présence de la cible à l'hypothèse de position par comparaison de ladite moyenne sur les segments temporels avec une valeur de référence.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la position orbitale du satellite récepteur est déterminée à partir d'un récepteur GNSS placé sur ledit satellite.

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la valeur de référence de l'étape de détermination (E8) de la présence de la cible est prédéterminée.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 2, dans lequel la valeur de référence de l'étape de détermination (E8) de la présence de la cible est adaptative.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la cible est un bateau sur une étendue d'eau.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel la cible est une surface non couverte de glace à un Pôle de la Terre.

7. Système de détection par satellite en orbite d'une cible possédant des caractéristiques de réflexion différentes de celles de la surface sur laquelle elle se trouve, par réflectométrie GNSS, adapté pour mettre en œuvre le procédé selon l'une des revendications précédentes.

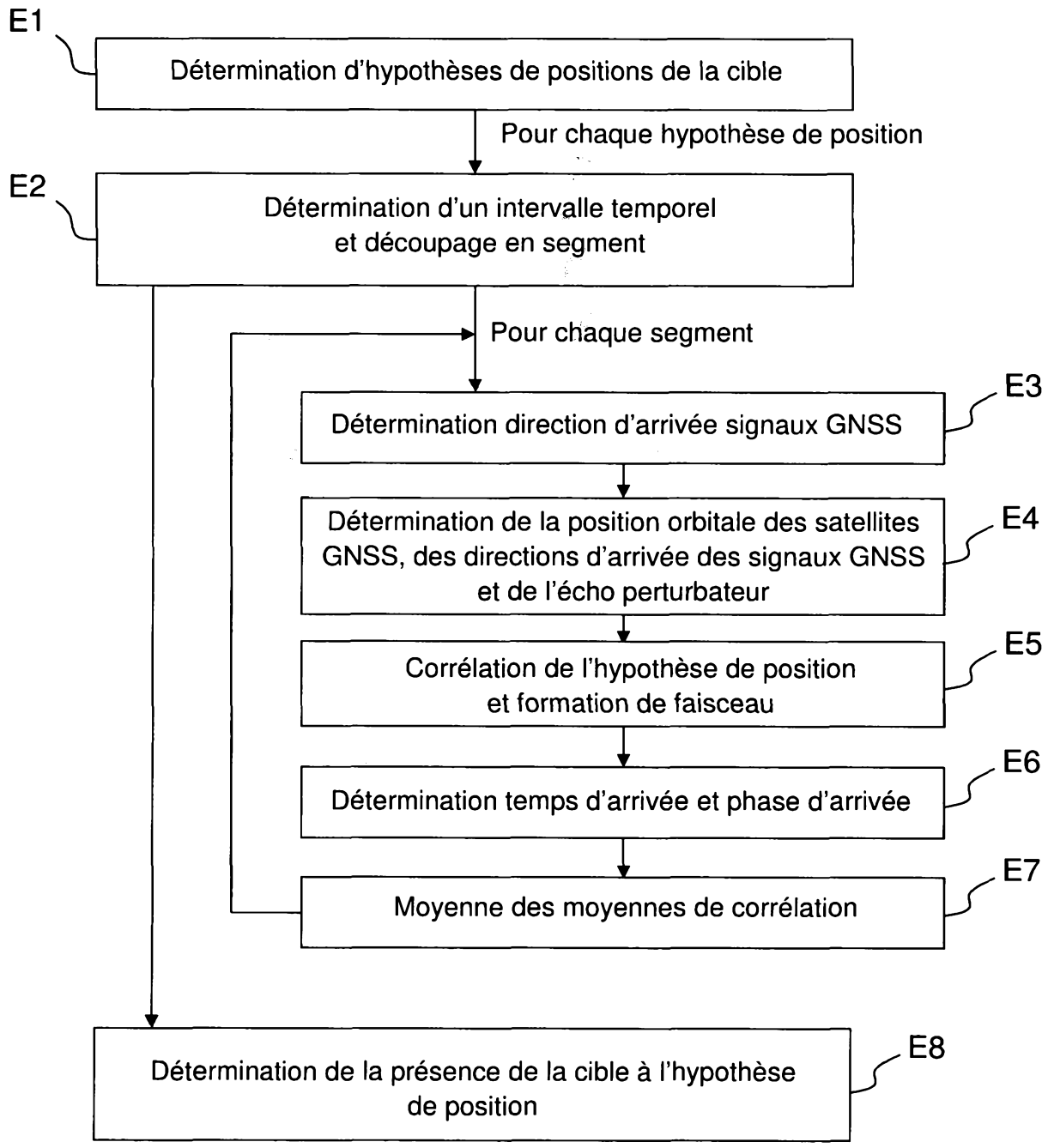

E1
Détermination d'hypothèses de positions de la cible
Pour chaque hypothèse de position
E2
Détermination d'un intervalle temporel
et découpage en segment
Pour chaque segment
E3
Détermination direction d'arrivée signaux GNSS
E4
Détermination de la position orbitale des satellites
GNSS, des directions d'arrivée des signaux GNSS
et de l'écho perturbateur
E5
Corrélation de l'hypothèse de position
et formation de faisceau
E6
Détermination temps d'arrivée et phase d'arrivée
E7
Moyenne des moyennes de corrélation
E8
Détermination de la présence de la cible à l'hypothèse
de position

FIG.1

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 849271
FR 1701143

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	FR 2 972 806 A1 (CENTRE NAT ETD SPATIALES [FR]) 21 septembre 2012 (2012-09-21) * abrégé; revendication 1; figures 1-4 * * page 5, ligne 11 - page 9, ligne 15 * -----	1-7	G01S19/01
A	UNWIN M ET AL: "Implementing GNSS-Reflectometry in Space on the TechDemoSat-1 Mission", GNSS 2014 - PROCEEDINGS OF THE 27TH INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GNSS+ 2014), THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 8551 RIXLEW LANE SUITE 360 MANASSAS, VA 20109, USA, 12 septembre 2014 (2014-09-12), pages 1222-1235, XP056007874, * abrégé * -----	1-7	
A	BROWN ALISON ET AL: "Remote Sensing Using Bistatic GPS and a Digital Beam Steering Receiver", GNSS 2005 - PROCEEDINGS OF THE 18TH INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GNSS 2005), THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 8551 RIXLEW LANE SUITE 360 MANASSAS, VA 20109, USA, 16 septembre 2005 (2005-09-16), pages 2511-2516, XP056009564, * le document en entier * -----	1-7	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01S
	-/--		

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
21 juin 2018	Mercier, Francois

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

2

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 849271
FR 1701143

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	BROWN ALLISON ET AL: "Test Results from a Novel Passive Bistatic GPS Radar Using a Phased Sensor Array", NTM 2007 - PROCEEDINGS OF THE 2007 NATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 8551 RIXLEW LANE SUITE 360 MANASSAS, VA 20109, USA, 24 janvier 2007 (2007-01-24), pages 504-509, XP056005010, * abrégé; figures 1,3,6-9,13 * * page 507, colonne de droite, ligne 1 - page 508, colonne de droite, ligne 29 * -----	1-7	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
21 juin 2018	Mercier, Francois

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons
.....
& : membre de la même famille, document correspondant

2

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1701143 FA 849271

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 21-06-2018
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2972806 A1	21-09-2012	AUCUN	

EPO FORM P0465