

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 096 142

21 N° d'enregistrement national : 19 05041

51 Int Cl⁸ : G 01 S 19/38 (2019.01), G 01 S 5/02, G 01 C 21/20,
G 05 D 1/00

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 15.05.19.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 20.11.20 Bulletin 20/47.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

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

72 Inventeur(s) : HEURGUIER Dominique.

73 Titulaire(s) : THALES Société anonyme.

74 Mandataire(s) : Lavoix.

54 Procédé de géolocalisation d'une plateforme se déplaçant en formation avec d'autres plateformes, produit programme d'ordinateur et module de géolocalisation associés.

57 Procédé de géolocalisation d'une
plateforme se déplaçant en formation avec d'autres plate-
formes, produit programme d'ordinateur et module de géo-
localisation associés

Ce procédé comprenant les étapes de fourniture (110, 120) de positions absolues des plateformes et d'un premier ensemble de données constitué d'estimations de distance entre chaque couple des plateformes, de définition (130) d'un repère local dans lequel la plateforme de référence est placée à l'origine et la direction d'au moins un axe est définie par la position absolue de l'une des plateformes voisines, de détermination (140) dans le repère local de positions relatives d'au moins trois plateformes à partir des estimations de distance entre chaque couple de ces plateformes, et de fusion (160) du premier ensemble de données et d'un deuxième ensemble de données comprenant les dites positions relatives pour obtenir dans le repère local une position relative de chacune des plateformes voisines.

Figure pour l'abrégié : figure 3



FR 3 096 142 - A1



Description

Titre de l'invention : Procédé de géolocalisation d'une plateforme se déplaçant en formation avec d'autres plateformes, produit programme d'ordinateur et module de géolocalisation associés

- [0001] La présente invention concerne un procédé de géolocalisation d'une plateforme se déplaçant en formation avec d'autres plateformes.
- [0002] La présente invention concerne également un produit programme d'ordinateur et un module de géolocalisation associés à ce procédé de géolocalisation.
- [0003] On entend par « plateforme » tout engin, notamment un engin motorisé, apte à se déplacer dans l'espace, notamment en formation avec d'autres engins. Ainsi, un aéronef (avion, hélicoptère, drone, etc.), un bateau, un véhicule ferroviaire ou une automobile sont des exemples d'un tel engin.
- [0004] Par « déplacement en formation », on comprend la manière de déplacement d'une pluralité d'engins à proximité, la notion de proximité dépendant de la nature des engins et de la formation. Ce déplacement peut être par exemple effectué en gardant des distances sensiblement constantes entre chaque couple d'engins ou alors en variant ces distances en fonction par exemple des événements extérieurs ou des règles prédéterminées. Les engins forment ainsi une structure qui est appelée parfois essaim.
- [0005] On connaît dans l'état de la technique des méthodes de géolocalisation d'aéronefs volant en formation.
- [0006] Ces méthodes permettent généralement de mettre en œuvre une navigation dite collaborative. Un tel type de navigation consiste à échanger des informations de navigation entre les aéronefs via par exemple une liaison radio. Après une analyse de l'ensemble des informations transmises, il est possible d'obtenir de manière précise la position de chacun des aéronefs.
- [0007] Ainsi, selon des exemples connus, chaque aéronef dispose généralement d'un récepteur GNSS (de l'anglais « Global Navigation Satellite System ») permettant d'obtenir une position absolue de cet aéronef en utilisant un système de positionnement par satellites.
- [0008] Au moins certains aéronefs sont aptes en outre à mesurer la distance entre eux en mettant en œuvre une technique de télémétrie.
- [0009] Cette technique permet de mesurer des distances entre des couples d'aéronef en exploitant par exemple une liaison radio ou toute autre liaison disponible entre eux.
- [0010] Il existe également des techniques de goniométrie permettant de déterminer des angles relatifs entre différents aéronefs en analysant la direction de provenance des signaux radioélectriques de ces aéronefs.

- [0011] Il est donc possible de combiner des informations reçues via les capteurs GNSS avec des mesures de télémétrie et éventuellement des mesures de goniométrie, afin d'en déduire la position de chacun des aéronefs de manière particulièrement précise.
- [0012] Toutefois, en cas de déni des signaux GNSS (notamment les cas de brouillage ou différents cas de pannes), la détermination d'une position précise de chacun des aéronefs volant en formation devient particulièrement compliquée.
- [0013] Pour pallier cette difficulté, des méthodes de l'état de la technique proposent de déterminer la position de chacun des aéronefs en utilisant d'autres instruments de mesure disponibles à bord tel qu'une centrale inertielle notamment.
- [0014] Toutefois, il est bien connu que les mesures fournies par tels instruments dérivent fortement avec le temps ce qui les rend inexploitable au bout d'un certain temps, même en combinaison avec des mesures de télémétrie et/ou de goniométrie.
- [0015] En pratique, il a été observé qu'après 30 minutes de vol en formation en cas de déni des signaux GNSS, l'écart en azimuth entre les positions réelles et estimées de deux aéronefs peut atteindre 25° ce qui met en péril un tel vol en formation.
- [0016] La présente invention a pour but de fournir de manière précise une position relative de chacune des plateformes se déplaçant en formation même en cas d'un déni prolongé des signaux GNSS.
- [0017] À cet effet, l'invention a pour objet un procédé de géolocalisation relative de plateformes voisines d'une plateforme, dite plateforme de référence, se déplaçant en formation avec N-1 plateformes, dites plateformes voisines.
- [0018] Le procédé comprend les étapes suivantes :
- [0019] - fourniture de positions absolues des plateformes et d'un premier ensemble de données constitué d'estimations de distance entre chaque couple des plateformes ;
- [0020] - définition d'un repère local dans lequel la plateforme de référence est placée à l'origine et la direction d'au moins un axe, dit premier axe, est définie par la position absolue de l'une des plateformes voisines ;
- [0021] - détermination dans le repère local de positions relatives d'au moins trois plateformes, dites plateformes de repère, à partir des estimations de distance entre chaque couple de ces plateformes, les positions relatives dans le repère local des plateformes de repère formant un deuxième ensemble de données;
- [0022] - fusion du premier ensemble de données et du deuxième ensemble de données pour obtenir dans le repère local une position relative de chacune des plateformes voisines.
- [0023] Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le procédé comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :
- [0024] - les estimations de distance entre chaque couple des plateformes sont déterminées par pondération de distances calculées entre chaque couple de plateformes à partir des

positions absolues de ces plateformes et de mesures de distance entre au moins certains couples de plateformes ;

- [0025] - la pondération est effectuée selon un estimateur du maximum de vraisemblance ;
- [0026] - chaque mesure de distance entre le couple de plateformes correspondant est obtenue en utilisant une liaison radioélectrique entre ces plateformes ;
- [0027] - une étape de suppression du premier ensemble de données des estimations de distance entre chaque couple des plateformes de repère ;
- [0028] - un deuxième axe du repère local est choisi afin de former avec le premier axe un repère bidimensionnel droit orthogonal dans un plan de référence, le plan de référence correspondant au plan formé par les positions absolues d'au moins trois plateformes de repère ou au plan horizontal comprenant au moins l'une desdites plateformes de repère ;
- [0029] - les plateformes de repère comprennent une première plateforme de repère correspondant à la plateforme de référence, une deuxième plateforme de repère correspondant à la plateforme voisine dont la position absolue a servi pour définir le premier axe du repère local, et une troisième plateforme de repère ;
- [0030] - la position relative de la troisième plateforme dans le repère local est obtenue par intersection d'un premier cercle et d'un deuxième cercle ;
- [0031] l'origine du premier cercle coïncidant avec la position relative dans le repère local de la première plateforme de repère et le rayon de ce cercle étant obtenu à partir de l'estimation de distance entre la première plateforme de repère et la troisième plateforme de repère ;
- [0032] l'origine du deuxième cercle coïncidant avec la position relative dans le repère local de la deuxième plateforme de repère et le rayon de ce cercle étant obtenu à partir de l'estimation de distance entre la deuxième plateforme de repère et la troisième plateforme de repère ;
- [0033] le signe de l'une des coordonnées de la position relative de la troisième plateforme de repère étant déterminé en utilisant la position absolue de cette plateforme ;
- [0034] - le repère local est un repère bidimensionnel compris dans le plan horizontal comprenant la plateforme de référence) ;avantageusement, l'étape de fourniture comprenant en outre la fourniture d'un troisième ensemble de données constitué d'estimations d'altitude absolue de chaque plateforme, l'étape de fusion comprenant en outre la fusion du troisième ensemble de données avec le premier ensemble de données et le deuxième ensemble de données pour obtenir une position relative tridimensionnelle de chacune des plateformes voisines ;
- [0035] - des positions relatives dans le repère local d'au moins quatre plateformes, dites plateformes de repère, sont déterminées à partir des estimations de distance entre chaque couple de ces plateformes, lors de l'étape de détermination correspondante ;

- [0036] - un troisième axe est choisi pour le repère local afin qu'il corresponde à un repère tridimensionnel droit orthogonal, les plateformes de repère comprenant alors en outre une quatrième plateforme de repère ; et
- [0037] - dans la position relative de la quatrième plateforme dans le repère local est obtenue par intersection d'une première sphère, d'une deuxième sphère et d'une troisième sphère ;
- [0038] l'origine de la première sphère coïncidant avec la position relative dans le repère local de la première plateforme de repère et le rayon de cette sphère correspondant à l'estimation de distance entre la première plateforme de repère et la quatrième plateforme de repère ;
- [0039] l'origine de la deuxième sphère coïncidant avec la position relative dans le repère local de la deuxième plateforme de repère et le rayon de cette sphère correspondant à l'estimation de distance entre la deuxième plateforme de repère et la quatrième plateforme de repère ;
- [0040] l'origine de la troisième sphère coïncidant avec la position relative dans le repère local de la troisième plateforme de repère et le rayon de cette sphère correspondant à l'estimation de distance entre la troisième plateforme de repère et la quatrième plateforme de repère ;
- [0041] le signe de l'une des coordonnées de la position relative de la quatrième plateforme de repère étant déterminé en utilisant la position absolue de cette plateforme.
- [0042] L'invention a également pour objet un produit programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsque mises en œuvre par un équipement informatique, mettent en œuvre le procédé tel que défini précédemment.
- [0043] L'invention a également pour objet un module de géolocalisation d'une plateforme, dite plateforme de référence, se déplaçant en formation avec N-1 plateformes, dites plateformes voisines, comprenant des moyens techniques configurés pour mettre en œuvre le procédé tel que défini précédemment.
- [0044] Ces caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :
- [0045] - [fig.1] la figure 1 est une vue schématique d'une pluralité de plateformes se déplaçant en formation, chacune des plateformes comprenant un module de géolocalisation selon l'invention ;
- [0046] - [fig.2] la figure 2 est une vue schématique détaillée de l'un des modules de géolocalisation de la figure 1 ; et
- [0047] - [fig.3] la figure 3 est un organigramme d'un procédé de géolocalisation selon l'invention, le procédé étant mis en œuvre par le module de géolocalisation de la figure 2.

- [0048] On a en effet représenté sur la figure 1 une pluralité de plateformes se déplaçant en formation.
- [0049] Comme expliqué précédemment, par « plateforme » on entend tout engin, notamment un engin motorisé, apte à se déplacer dans l'espace, notamment en formation avec d'autres engins.
- [0050] Cette formation est composée de N plateformes, où N est un nombre naturel supérieur ou égal à 2.
- [0051] Dans l'exemple de la figure 1, chaque plateforme est un aéronef, notamment un avion, repérée sur cette figure par l'une des références A₁ à A₄.
- [0052] Par ailleurs, dans l'exemple de cette figure, les plateformes A₁ à A₄ effectuent un vol en formation présentant la forme d'un losange. En outre, dans cet exemple, il est considéré que la forme de cette formation est sensiblement constante tout au long du déplacement des plateformes A₁ à A₄.
- [0053] Selon d'autres exemples de réalisation, la forme de la formation est variable au cours du temps en fonction par exemple des événements extérieurs ou des règles prédéterminées.
- [0054] Par ailleurs, cette formation peut présenter une forme sensiblement constante mais les plateformes A₁ à A₄ elles-mêmes peuvent interchanger ses positions.
- [0055] Chaque plateforme A₁ à A₄ comprend un module de géolocalisation permettant de mettre en œuvre une navigation collaborative au sein de la formation, comme cela sera expliqué en détail par la suite.
- [0056] Les modules de géolocalisation et des composantes associées à ces modules des plateformes A₁ à A₄ sont par exemple tous analogues entre eux. Ainsi, par la suite, seul un module de navigation 10 et des composantes associées à celui-ci de la plateforme A₁ seront expliqués en détail en référence à la figure 2.
- [0057] Ainsi, comme cela est visible sur cette figure 2, le module de géolocalisation 10 comprend une unité d'entrée 12, une unité de traitement 13 et une unité de sortie 14.
- [0058] Chacune de ces unités 12 à 14 se présente au moins partiellement sous la forme d'un circuit logique programmable et/ou d'un logiciel configurés pour mettre en œuvre les fonctions associées. De plus, lorsqu'au moins l'une de ces unités 12 à 14 se présente au moins partiellement sous la forme d'un logiciel, ce logiciel est stocké dans une mémoire associée et est mis en œuvre par un logiciel associé.
- [0059] L'unité d'entrée 12 est apte à acquérir des données issues de systèmes externes.
- [0060] En particulier, l'unité d'entrée 12 est apte à acquérir des données de navigation issues d'un capteur GNSS 22. Ces données de navigation sont déduites de signaux transmis par les satellites d'un système GNSS et permettent notamment de déterminer une position absolue dans un repère terrestre de la plateforme A₁ correspondante.
- [0061] L'unité d'entrée 12 est apte en outre à acquérir des données issues d'un système de

radiocommunication 23 avec les autres plateformes de la formation.

- [0062] En particulier, le système de radiocommunication 23 permet d'établir une liaison radioélectrique avec un système analogue d'au moins une autre plateforme afin de recevoir des données utiles issues de cette autre plateforme et de déterminer de cette liaison des données de télémétrie et avantageusement, des données de goniométrie relatives à cette autre plateforme.
- [0063] Les données de télémétrie comprennent notamment des mesures de distance entre les plateformes correspondantes. Ces données sont déduites par exemple de la liaison radioélectrique établie entre les deux plateformes en envoyant un signal de type prédéterminé dans cette liaison et en mesurant le temps de réponse à ce signal.
- [0064] Les données de goniométrie générées par l'une des plateformes comprennent notamment des mesures d'angle entre l'autre plateforme et une direction prédéterminée. Ces mesures sont déduites en analysant les directions de provenance des signaux radioélectriques formant la liaison radioélectrique correspondante.
- [0065] Les données utiles comprennent des données relatives à différentes plateformes de la formation.
- [0066] Ces données utiles comprennent par exemple des données relatives à la position absolue et à l'altitude de chacune des plateformes, y compris des plateformes dépourvues de liaison radioélectrique directe avec la plateforme A_1 . Pour cela, il est nécessaire que chacune des plateformes ait une liaison radioélectrique avec au moins une autre plateforme. Dans ce cas, des informations utiles relatives à une telle plateforme sont transmises à l'ensemble des autres plateformes via une ou plusieurs autres plateformes.
- [0067] Ainsi, le système de communication 23 permet d'établir un réseau de communication maillé au sein de la formation des plateformes A_1 à A_4 ce qui permet de transmettre des données utiles relatives à l'ensemble des plateformes.
- [0068] L'unité d'entrée 12 permet en outre d'acquérir des données issues d'une centrale inertielle 24 et d'un altimètre 25 de la plateforme A_1 .
- [0069] En particulier, de manière connue en soi, les données délivrées par la centrale inertielle 24 comprennent des données de navigation permettant de déduire une position absolue de la plateforme A_1 à partir d'un point de référence. Cette position absolue est déduite en analysant les accélérations de la plateforme A_1 détectées par la centrale inertielle 24 à partir du point de référence.
- [0070] Également de manière connue en soi, les données délivrées par l'altimètre 25 comprennent des données relatives à l'altitude courante de la plateforme A_1 .
- [0071] L'unité de traitement 13 permet d'analyser l'ensemble des données acquises par l'unité d'entrée 12 afin d'en déduire une position relative de chacune des plateformes A_2 à A_4 . Pour ce faire, l'unité de traitement 13 est apte à mettre en œuvre au moins

certaines étapes d'un procédé de géolocalisation expliqué en détail par la suite.

- [0072] L'unité de sortie 14 est apte à transmettre les positions relatives de chacune des plateformes A_2 à A_4 à des systèmes embarqués de la plateforme qui sont configurés pour utiliser ces positions.
- [0073] Ainsi, par exemple, ces systèmes embarqués comprennent un système d'alerte de trafic et d'évitement de collision, un système de navigation, un système d'affichage, etc.
- [0074] Le procédé de géolocalisation selon l'invention sera désormais expliqué en référence à la figure 3 présentant un organigramme de ses étapes.
- [0075] Dans l'exemple décrit, ce procédé est mis en œuvre par le module de géolocalisation 10 de la plateforme A_1 qui est alors appelée plateforme de référence. Les autres plateformes A_2 à A_4 sont appelées plateformes voisines.
- [0076] Toutefois, il doit être compris qu'avantageusement, le procédé de géolocalisation décrit ci-dessous est mis en œuvre par le module de géolocalisation de chacune des plateformes. Ainsi, dans le cas général, la plateforme mettant en œuvre le procédé de géolocalisation est considérée comme plateforme de référence aux fins de ce procédé, les autres plateformes étant considérées comme plateformes voisines.
- [0077] Il est également supposé que chaque plateforme dispose d'une liaison radioélectrique avec au moins une autre plateforme et qu'au moins un couple de plateformes est dépourvu d'une telle liaison. Dans l'exemple de la figure 1, le couple des plateformes A_1 et A_4 est par exemple dépourvu de liaison radioélectrique directe.
- [0078] Enfin, il est supposé que la formation A_1 à A_4 se trouve par exemple dans une zone de brouillage au moins partiel des signaux GNSS mais que chaque plateforme dispose toutefois de sa position absolue avec une précision moindre. Cette position absolue est obtenue par exemple en utilisant la centrale inertielle embarquée.
- [0079] Lors d'une étape initiale 110, l'unité d'entrée 12 acquiert l'ensemble des données issues des composantes 22 à 25 associées à cette unité.
- [0080] Ces données comprennent notamment M positions absolues P_i de l'ensemble des plateformes et K mesures de distance R_{ij} entre au moins certains couples de plateformes. Le nombre M est alors compris entre 0 et N , et le nombre K est compris entre 0 et $N(N-1)/2$.
- [0081] Il est donc clair que lorsque les positions absolues de l'ensemble des plateformes sont connues, le nombre M est égal à N . Par la suite, pour des raisons de simplicité, il est considéré que le nombre M est égal à N .
- [0082] Selon un exemple avantageux de réalisation de l'invention, lors de cette étape 110, l'unité d'entrée 12 acquiert en outre L mesures de goniométrie Θ_i où le nombre L est compris entre 0 et $N(N-1)$.

- [0083] À la fin de cette étape, l'unité d'entrée 12 transmet l'ensemble des données acquises à l'unité de traitement 13.
- [0084] Lors de l'étape 120 suivante, l'unité de traitement 13 traite les données acquises par l'unité d'entrée 12 afin de déterminer des estimations de distance entre chaque couple des plateformes.
- [0085] Pour ce faire, l'unité de traitement 13 applique un estimateur du maximum de vraisemblance aux données relatives aux positions absolues P_i et aux mesures de distance R_{ij} acquises lors de l'étape 110 précédente. Avantagusement, cet estimateur est appliqué également aux mesures de goniométrie Θ_i .
- [0086] En particulier, lors de cette étape 120, l'unité de traitement 13 détermine un premier ensemble de données \mathbf{R}'' constitué des estimations de distance R_{ij}'' entre chaque couple des plateformes.
- [0087] Autrement dit, ce premier ensemble de données est déterminé comme suit :
- [0088] $\mathbf{R}'' = \{R_{ij}''\} = \{MaxVraisemblance (R_{ij}, d(P_i, P_j))\}$,
- [0089] où
- [0090] $d(P_i, P_j)$ est la distance entre un couple de plateformes déterminée à partir de leur position absolue P_i et P_j ; et
- [0091] *MaxVraisemblance* est un estimateur du maximum de vraisemblance déterminé selon des techniques connues en soi.
- [0092] Lors de l'étape 130 suivante, l'unité de traitement 13 construit un repère local lié à la plateforme de référence, c'est-à-dire à la plateforme A_1 .
- [0093] Deux modes de réalisation du procédé seront expliqués par la suite.
- [0094] Selon un premier mode de réalisation l'unité de traitement 13 construit un repère local bidimensionnel Rep_{12} . Ce repère est compris dans le plan horizontal comprenant la plateforme de référence A_1 . Ce plan horizontal est alors appelé plan de référence.
- [0095] Comme cela sera expliqué en référence à l'étape 160, selon le premier mode de réalisation, des positions relatives de chaque plateforme voisine seront d'abord obtenues dans ce plan de référence et seront complétées ensuite par les estimations de l'altitude relative de chacune des plateformes par rapport à ce plan de référence.
- [0096] En particulier, dans ce mode de réalisation, la plateforme de référence A_1 ayant alors la position absolue P_1 est placée à l'origine du repère local R_{12} . Cette plateforme de référence sera ainsi également appelée par la suite première plateforme de repère.
- [0097] Puis, la direction d'un premier axe de ce repère est déterminée par la position absolue P_2 de l'une des plateformes voisines, par exemple de la plateforme A_2 qui sera alors appelée par la suite deuxième plateforme de repère.
- [0098] En particulier, dans ce cas, la direction du premier axe correspond à la projection or-

thogonale sur le plan de référence du vecteur $\overline{P_1 P_2}$ passant par la position absolue P_1 de la première plateforme de repère et la position absolue P_2 de la deuxième plateforme de repère.

- [0099] Enfin, un deuxième axe du repère Rep_{12} est déterminé dans le plan de référence de sorte à former un repère orthogonal droit.
- [0100] Chaque point dans ce repère Rep_{12} peut donc être défini par une première coordonnée caractérisant sa position par rapport au premier axe et par une deuxième coordonnée caractérisant sa position par rapport au deuxième axe.
- [0101] Selon un deuxième mode de réalisation, l'unité de traitement 13 construit un repère local tridimensionnel Rep_{123}
- [0102] Ce repère Rep_{123} a pour origine la position absolue de la plateforme de référence qui est appelée, comme dans le cas précédent, première plateforme de repère.
- [0103] Le repère Rep_{123} comprend en outre un premier axe dont la direction correspond au vecteur $\overline{P_1 P_2}$ passant par la position absolue P_1 de la première plateforme de repère et la position absolue P_2 d'une plateforme voisine, par exemple de la plateforme A_2 , qui est appelée dans ce cas deuxième plateforme de repère.
- [0104] Le repère Rep_{123} comprend en outre un deuxième axe qui est choisi de sorte à former un repère bidimensionnel orthogonal droit avec le premier axe dans un plan de référence.
- [0105] Ce plan de référence est formé par les positions absolues de la première plateforme de repère, de la deuxième plateforme de repère et d'une autre plateforme voisine, par exemple de la plateforme A_3 , appelée alors troisième plateforme de repère.
- [0106] Il est donc clair que contrairement au premier mode de réalisation, le plan de référence selon le deuxième mode de réalisation n'est pas nécessairement un plan horizontal.
- [0107] Finalement, le repère Rep_{123} comprend en outre un troisième axe construit de sorte à compléter le premier axe et le deuxième axe, et former un repère tridimensionnel orthogonal droit.
- [0108] Ainsi, chaque point dans ce repère Rep_{123} peut donc être défini par une première coordonnée caractérisant sa position par rapport au premier axe, par une deuxième coordonnée caractérisant sa position par rapport au deuxième axe et par une troisième coordonnée caractérisant sa position par rapport au troisième axe.
- [0109] Lors de l'étape 140 suivante, l'unité de traitement 13 détermine dans le repère local construit lors de l'étape 130 des positions relatives des plateformes de repère, à partir des estimations de distance R''_{ij} entre chaque couple de ces plateformes.
- [0110] En particulier, selon le premier mode de réalisation, lors de l'étape 140, l'unité de traitement 13 détermine dans le repère local Rep_{12} des positions relatives P''_1 , P''_2 et

P_3'' respectivement de la première plateforme de repère, de la deuxième plateforme de repère et de la troisième plateforme de repère. Ces positions relatives P_1'' , P_2'' et P_3'' correspondent alors théoriquement aux projections orthogonales des positions absolues P_1 , P_2 et P_3 de ces plateformes. En présence d'erreurs d'estimations importantes sur les positions absolues, il est clair que les positions relatives obtenues par la projection orthogonale seront également entachées d'erreurs importantes. Toutefois, l'étape de fusion de ces positions avec les estimations de distance R_{ij}'' , telle que sera

décrite par la suite, permettra d'obtenir des positions relatives beaucoup plus précises.

[0111] Compte tenu de la manière de construction du repère Rep_{12} , la position relative de la première plateforme de repère correspond au point $[0 ; 0]$ déterminé avec la variance $[\epsilon ; \epsilon]$ où ϵ est un paramètre de précision fixe de l'estimateur du maximum de vraisemblance expliqué précédemment.

[0112] La position de la deuxième plateforme de repère correspond au point $[Pr(R_{12}'') ; 0]$ déterminé avec la variance $[\sigma_{12} ; \epsilon]$ où :

[0113] $Pr(R_{ij}'')$ est l'image de la valeur R_{ij}'' dans le repère Rep_{12} , i.e.

$$Pr(R_{ij}'') = R_{ij}'' \cos(\theta) \text{ avec } \theta \text{ correspondant à l'angle formé entre le vecteur } \overline{P_i P_j} \text{ et le plan de référence ; et}$$

[0114] σ_{12} est une erreur résultant de la détermination de la valeur R_{12}'' par l'estimateur du maximum de vraisemblance.

[0115] Enfin, la position relative P_3'' de la troisième plateforme de repère est déterminée en tant que l'un des points d'intersection d'un premier cercle et d'un deuxième cercle.

[0116] L'origine du premier cercle coïncide avec la position relative P_1'' de la première plateforme de repère et le rayon de ce cercle correspond à l'image de l'estimation de distance R_{13}'' entre la première plateforme de repère et la troisième plateforme de repère, dans le repère Rep_{12} .

[0117] L'origine du deuxième cercle coïncide avec la position relative P_2'' de la deuxième plateforme de repère et le rayon de ce cercle correspond à l'image de l'estimation de distance R_{23}'' entre la deuxième plateforme de repère et la troisième plateforme de repère, dans le repère Rep_{12} .

[0118] Par ailleurs, il est clair que les deux cercles ainsi construits ont deux points d'intersection dont les premières coordonnées sont identiques et les deuxièmes coordonnées sont de signes opposés.

[0119] Ainsi, pour choisir l'un de ces points d'intersection et de lever donc l'ambiguïté

relative au signe, l'unité de traitement 13 utilise la position absolue P_3 de la troisième plateforme de repère.

- [0120] La position relative p_3'' ainsi déterminée est donc déterminée avec la variance $bcr(\sigma_{12}, \sigma_{13})$ où la fonction $bcr(\dots)$ est la borne de Cramér-Rao connue en soi dans l'art et σ_{13} est une erreur résultant de la détermination de la valeur R_{13}'' par l'estimateur du maximum de vraisemblance.
- [0121] Dans le deuxième mode de réalisation, lors de l'étape 140, l'unité de traitement 13 détermine également des positions relatives p_1'' , p_2'' et p_3'' respectivement de la première plateforme de repère, de la deuxième plateforme de repère et de la troisième plateforme de repère.
- [0122] En particulier, la position relative p_1'' est déterminée par $[0; 0; 0]$, la position relative p_2'' est déterminée par $[R_{12}''; 0; 0]$ et la position relative p_3'' est déterminée dans le plan de référence comme cela a été expliqué précédemment en relation avec le plan horizontal.
- [0123] Plus particulièrement, la position relative p_3'' de la troisième plateforme de repère est déterminée en tant que l'un des points d'intersection d'un premier cercle et d'un deuxième cercle.
- [0124] L'origine du premier cercle coïncide avec la position relative p_1'' de la première plateforme de repère et le rayon de ce cercle correspond à l'estimation de distance R_{13}'' entre la première plateforme de repère et la troisième plateforme de repère.
- [0125] L'origine du deuxième cercle coïncide avec la position relative p_2'' de la deuxième plateforme de repère et le rayon de ce cercle correspond à l'estimation de distance R_{23}''' entre la deuxième plateforme de repère et la troisième plateforme de repère.
- [0126] Comme dans le cas précédent, la deuxième coordonnée de la position relative p_3'' est choisie en fonction de la position absolue P_3 de la troisième plateforme de repère.
- [0127] Selon le deuxième mode de réalisation, l'unité de traitement 13 détermine en outre la position relative p_4'' dans le repère local Rep_{123} encore d'une autre plateforme voisine dont la position absolue est non-coplanaire avec les positions absolues des trois premières plateformes de repère. Cette plateforme voisine est alors appelée quatrième plateforme de repère.
- [0128] Pour ce faire, l'unité de traitement 13 construit une première sphère, une deuxième sphère et une troisième sphère.
- [0129] L'origine de la première sphère coïncide avec la position relative p_1'' dans le repère local Rep_{123} de la première plateforme de repère et le rayon de cette sphère correspond

à l'estimation de distance R''_{14} entre la première plateforme de repère et la quatrième plateforme de repère.

- [0130] L'origine de la deuxième sphère coïncide avec la position relative p''_2 dans le repère local Rep_{123} de la deuxième plateforme de repère et le rayon de cette sphère correspond à l'estimation de distance R''_{24} entre la deuxième plateforme de repère et la quatrième plateforme de repère.
- [0131] L'origine de la troisième sphère coïncide avec la position relative p''_3 dans le repère local Rep_{123} de la troisième plateforme de repère et le rayon de cette sphère correspondant à l'estimation de distance R''_{34} entre la troisième plateforme de repère et la quatrième plateforme de repère.
- [0132] Comme dans le cas précédent, l'intersection de ces trois sphères donne deux points dont les deux premières coordonnées sont identiques et dont les troisièmes coordonnées sont de signes opposés. Dans ce cas, la position relative p''_4 est choisie entre ces points d'intersection en utilisant la position absolue P_4 de la quatrième plateforme.
- [0133] La position relative p''_4 ainsi déterminée est donc déterminée avec la variance $\text{bcr}(\sigma_{12}, \sigma_{23}, \sigma_{34})$ où σ_{23} et σ_{34} sont des erreurs résultant de la détermination respectivement des valeurs R''_{23} et R''_{34} par l'estimateur du maximum de vraisemblance.
- [0134] À la fin de l'étape 140, l'unité de traitement 13 forme un deuxième ensemble de données \mathbf{p}'' à partir des positions relatives p''_i déterminées des plateformes de repère.
- [0135] Ainsi, selon le premier mode de réalisation $\mathbf{p}'' = \{p''_i\}$ avec i variant entre 1 et 3 et selon le deuxième mode de réalisation $\mathbf{p}'' = \{p''_i\}$ avec i variant entre 1 et 4.
- [0136] Lors de l'étape 150 suivante, l'unité de traitement 13 supprime du premier ensemble de données \mathbf{R}'' des estimations de distance entre chaque couple des plateformes de repère.
- [0137] En particulier, selon le premier mode de réalisation, l'unité de traitement 13 supprime du premier ensemble de données \mathbf{R}'' les valeurs R''_{12} , R''_{13} et R''_{23} .
- [0138] Selon le deuxième mode de réalisation, l'unité de traitement 13 supprime du premier ensemble de données \mathbf{R}'' les valeurs R''_{12} , R''_{13} , R''_{23} , R''_{14} , R''_{24} et R''_{34} .
- [0139] Lors de l'étape 160 suivante, l'unité de traitement 13 fusionne le premier ensemble de données \mathbf{R}'' et le deuxième ensemble de données \mathbf{p}'' pour obtenir dans le repère local une position relative de chacune des plateformes voisines.
- [0140] En particulier, lors de cette étape 160, l'unité de traitement 13 détermine une position

relative pour des plateformes voisines autres que les plateformes de repère à partir des positions relatives des plateformes de repère et des estimations de distance R''_{ij} entre chaque couple de plateformes.

- [0141] Autrement dit, lors de l'étape 160, l'unité de traitement 13 détermine une position relative P''_i pour i variant de 4 à N dans le premier mode de réalisation et pour i variant de 5 à N dans le deuxième mode de réalisation à partir des valeurs R''_{ij} et des valeurs P''_i pour i variant de 1 à 3 dans le premier mode de réalisation et pour i variant de 1 à 4 dans le deuxième mode de réalisation.
- [0142] Cette fusion est effectuée selon des techniques connues en soi et permet donc d'obtenir une position relative de chaque plateforme voisine dans le repère relatif lié à la plateforme de référence à partir des positions relatives de ces plateformes et des estimations de distance entre chaque couple de plateforme.
- [0143] Par ailleurs, selon le premier mode de réalisation, la fusion est faite en utilisant les images $Pr(R''_{ij})$ des valeurs R''_{ij} du premier ensemble de données R'' , dans le repère Rep_{12} .
- [0144] Ainsi, les positions relatives obtenues après la fusion du premier ensemble de données R'' et du deuxième ensemble de données P'' , présentent des positions relatives bidimensionnelles dans le plan horizontal comprenant la plateforme de référence. Puis, l'unité de traitement 13 obtient les positions relatives tridimensionnelles en fusionnant les positions relatives bidimensionnelles avec un troisième ensemble de données comprenant les altitudes absolues de chacune des plateformes voisines.
- [0145] En particulier, cette dernière fusion comprend la détermination d'une altitude relative de chacune des plateformes voisines par rapport à la plateforme de référence à partir des altitudes absolues fournies.
- [0146] La position relative de chaque plateforme voisine correspond ainsi à un triplet dont les deux premières coordonnées correspondent à la position relative bidimensionnelle de cette plateforme voisine dans le plan horizontal comprenant la plateforme de référence et la troisième coordonnée correspond à l'altitude relative de cette plateforme.
- [0147] Selon le deuxième mode de réalisation, les positions relatives sont obtenues directement en trois dimensions après la fusion du premier ensemble de données R'' et du deuxième ensemble de données P'' qui présentent déjà des positions tridimensionnelles.
- [0148] À la fin de cette étape 160, l'unité de traitement 13 transmet l'ensemble des positions

relatives à l'unité de sortie 14 qui les transmet à un ou plusieurs systèmes embarqués expliqués précédemment.

- [0149] On conçoit alors que l'invention présente un certain nombre d'avantages.
- [0150] En effet, l'invention permet à chacune des plateformes d'obtenir des positions relatives précises de chaque plateforme voisine se déplaçant en formation même en cas de déni du système GNSS.
- [0151] En particulier, le fait de calculer ses positions toujours dans un repère relatif lié à chaque plateforme à partir de mesures relatives régulières permet d'éviter les dérives avec le temps des positions absolues de ces plateformes déterminées via un outil de mesure absolue qui dérive, tel qu'une centrale inertielle.
- [0152] Ces positions relatives précises exemptes de dérive sont du plus grand intérêt pour la mise en œuvre de procédé utilisant des informations relatives telles qu'un système anti-collision reposant sur une estimation de distance entre la plateforme de référence et une autre plateforme pour laquelle il n'y a pas de télémétrie avec la plateforme de référence ou encore pour effectuer un pointage antennaire vers une plateforme tierce à partir d'un angle relatif par rapport à une plateforme déjà pointée. Lesdites informations relatives déduites des positions absolues seraient en effet beaucoup moins précises en raison du phénomène de dérive.
- [0153] En outre, l'invention peut être mise en œuvre en utilisant des systèmes et des calculateurs déjà existants à bord des plateformes. Cela rend alors particulièrement simple sa mise en œuvre.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de géolocalisation relative de plateformes voisines d'une plateforme, dite plateforme de référence (A_1), se déplaçant en formation avec N-1 plateformes, dites plateformes voisines (A_2, A_3, A_4) ; le procédé comprenant les étapes suivantes :
- fourniture (110, 120) de positions absolues (P_{ij}) des plateformes et d'un premier ensemble de données (R'') constitué d'estimations de distance (R_{ij}'') entre chaque couple des plateformes ;
 - définition (130) d'un repère local ($Rep_{12}; Rep_{123}$) dans lequel la plateforme de référence (A_1) est placée à l'origine et la direction d'au moins un axe, dit premier axe, est définie par la position absolue de l'une des plateformes voisines (A_2, A_3, A_4) ;
 - détermination (140) dans le repère local ($Rep_{12}; Rep_{123}$) de positions relatives (p_i'') d'au moins trois plateformes, dites plateformes de repère, à partir des estimations de distance (R_{ij}'') entre chaque couple de ces plateformes, les positions relatives (p_i'') dans le repère local ($Rep_{12}; Rep_{123}$) des plateformes de repère formant un deuxième ensemble de données (P'') ;
 - fusion (160) du premier ensemble de données (R'') et du deuxième ensemble de données (P'') pour obtenir dans le repère local ($Rep_{12}; Rep_{123}$) une position relative de chacune des plateformes voisines (A_2, A_3, A_4).
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel les estimations de distance (R_{ij}'') entre chaque couple des plateformes sont déterminées par pondération de distances calculées entre chaque couple de plateformes à partir des positions absolues (P_i) de ces plateformes et de mesures de distance (R_{ij}) entre au moins certains couples de plateformes.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 2, dans lequel la pondération est effectuée selon un estimateur du maximum de vraisemblance.
- [Revendication 4] Procédé selon la revendication 2 ou 3, dans lequel chaque mesure de distance (R_{ij}) entre le couple de plateformes correspondant est obtenue en utilisant une liaison radioélectrique entre ces plateformes.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une étape (150) de suppression du premier

ensemble de données (\mathbf{R}'') des estimations de distance (R''_{ij}) entre chaque couple des plateformes de repère.

- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un deuxième axe du repère local (Rep_{12} ; Rep_{123}) est choisi afin de former avec le premier axe un repère bidimensionnel droit orthogonal dans un plan de référence, le plan de référence correspondant au plan formé par les positions absolues (P_i) d'au moins trois plateformes de repère ou au plan horizontal comprenant au moins l'une desdites plateformes de repère.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les plateformes de repère comprennent une première plateforme de repère correspondant à la plateforme de référence (A_1), une deuxième plateforme de repère correspondant à la plateforme voisine (A_2) dont la position absolue a servi pour définir le premier axe du repère local (Rep_{12} ; Rep_{123}), et une troisième plateforme de repère.
- [Revendication 8] Procédé selon les revendications 6 et 7, dans lequel la position relative de la troisième plateforme dans le repère local (Rep_{12} ; Rep_{123}) est obtenue par intersection d'un premier cercle et d'un deuxième cercle ; l'origine du premier cercle coïncidant avec la position relative (P'_1) dans le repère local (Rep_{12} ; Rep_{123}) de la première plateforme de repère et le rayon de ce cercle étant obtenu à partir de l'estimation de distance (R''_{13}) entre la première plateforme de repère et la troisième plateforme de repère ;
l'origine du deuxième cercle coïncidant avec la position relative (P'_2) dans le repère local (Rep_{12} ; Rep_{123}) de la deuxième plateforme de repère et le rayon de ce cercle étant obtenu à partir de l'estimation de distance (R''_{23}) entre la deuxième plateforme de repère et la troisième plateforme de repère ;
le signe de l'une des coordonnées de la position relative de la troisième plateforme de repère étant déterminé en utilisant la position absolue (P_3) de cette plateforme (A_2, A_3, A_4).
- [Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le repère local (Rep_{12}) est un repère bidimensionnel compris dans le plan horizontal comprenant la plateforme de référence (A_1) ;
avantageusement, l'étape de fourniture (110) comprenant en outre la fourniture d'un troisième ensemble de données constitué d'estimations

d'altitude absolue de chaque plateforme, l'étape de fusion (170) comprenant en outre la fusion du troisième ensemble de données avec le premier ensemble de données (\mathbf{R}'') et le deuxième ensemble de données (\mathbf{P}'') pour obtenir une position relative tridimensionnelle de chacune des plateformes voisines.

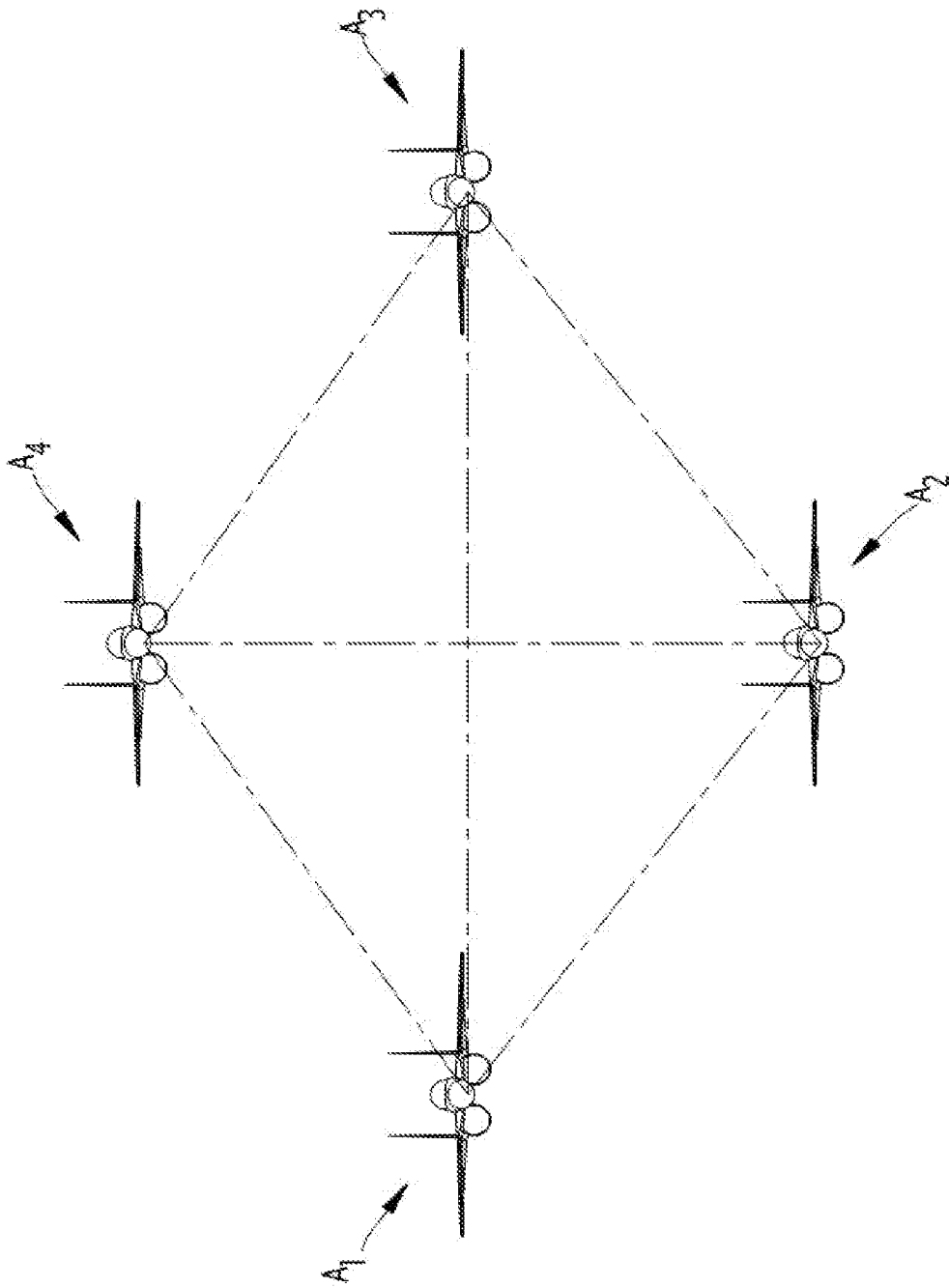
- [Revendication 10] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel des positions relatives (\mathbf{p}_{ij}'') dans le repère local (Rep_{123}) d'au moins quatre plateformes, dites plateformes de repère, sont déterminées à partir des estimations de distance (\mathbf{R}_{ij}'') entre chaque couple de ces plateformes, lors de l'étape de détermination (140) correspondante.
- [Revendication 11] Procédé selon la revendication 10 prise en combinaison avec les revendications 6 et 7 dans lequel un troisième axe est choisi pour le repère local (R_{123}) afin qu'il corresponde à un repère tridimensionnel droit orthogonal, les plateformes de repère comprenant alors en outre une quatrième plateforme de repère.
- [Revendication 12] Précédé selon la revendication 11, dans la position relative de la quatrième plateforme dans le repère local (Rep_{123}) est obtenue par intersection d'une première sphère, d'une deuxième sphère et d'une troisième sphère ;
l'origine de la première sphère coïncidant avec la position relative (\mathbf{p}_1') dans le repère local (Rep_{123}) de la première plateforme de repère et le rayon de cette sphère correspondant à l'estimation de distance (\mathbf{R}_{14}'') entre la première plateforme de repère et la quatrième plateforme de repère ;
l'origine de la deuxième sphère coïncidant avec la position relative (\mathbf{p}_2'') dans le repère local (Rep_{123}) de la deuxième plateforme de repère et le rayon de cette sphère correspondant à l'estimation de distance (\mathbf{R}_{24}'') entre la deuxième plateforme de repère et la quatrième plateforme de repère ;
l'origine de la troisième sphère coïncidant avec la position relative (\mathbf{p}_3'') dans le repère local (Rep_{123}) de la troisième plateforme de repère et le rayon de cette sphère correspondant à l'estimation de distance (\mathbf{R}_{24}'') entre la troisième plateforme de repère et la quatrième plateforme de repère ;
le signe de l'une des coordonnées de la position relative (\mathbf{p}_4') de la

quatrième plateforme de repère étant déterminé en utilisant la position absolue (P_4) de cette plateforme.

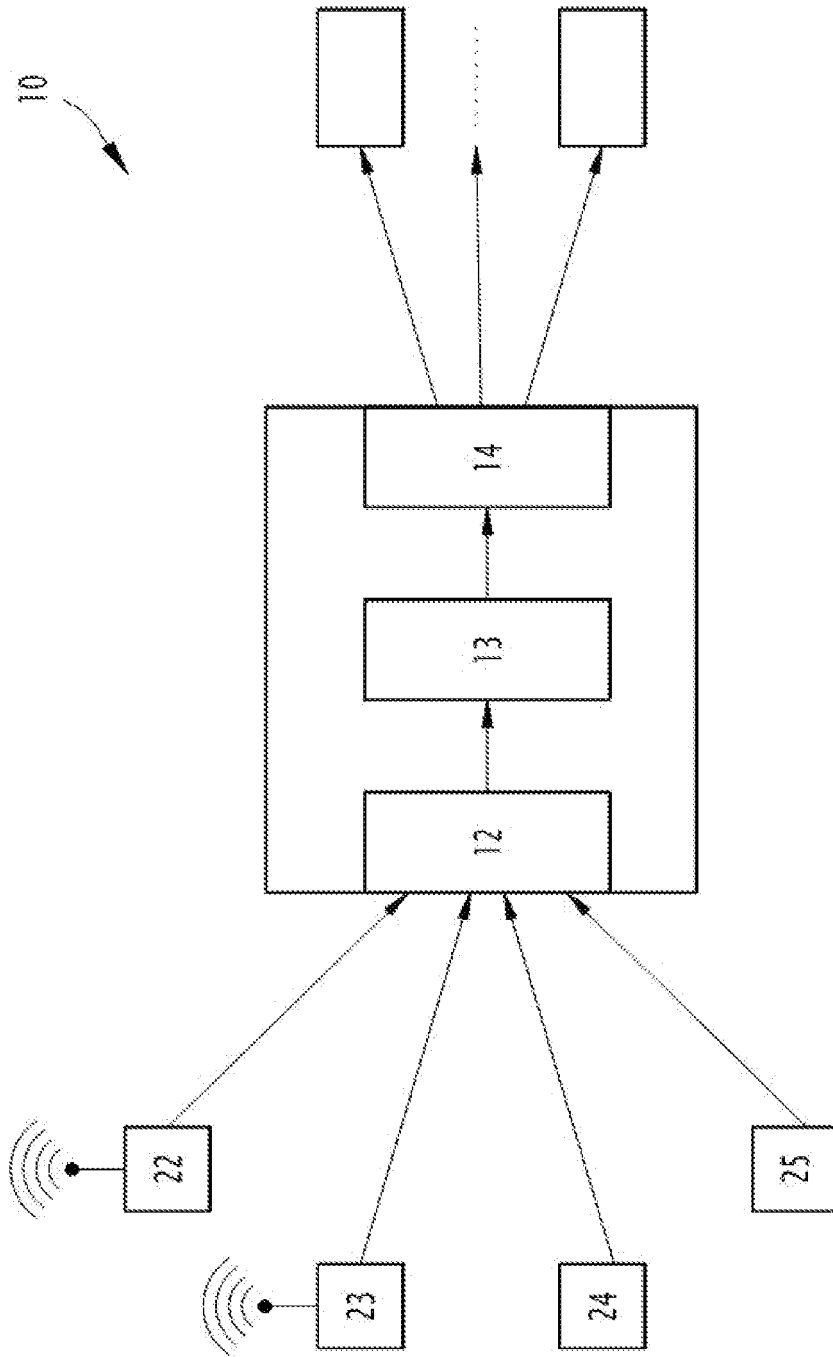
[Revendication 13] Produit programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsque mises en œuvre par un équipement informatique, mettent en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.

[Revendication 14] Module de géolocalisation (10) d'une plateforme, dite plateforme de référence (A_1), se déplaçant en formation avec N-1 plateformes, dites plateformes voisines (A_2, A_3, A_4), comprenant des moyens techniques configurés pour mettre en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12.

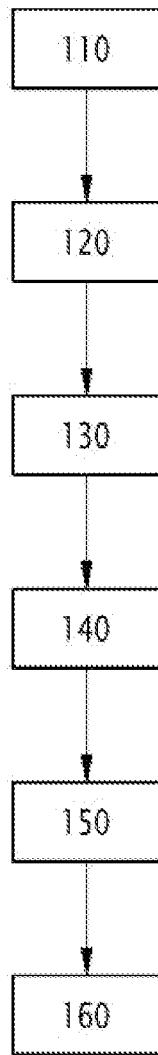
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 870257
FR 1905041

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	WO 2005/081012 A1 (JADI INC [US]; CHEOK KA C [US]; SMID EDZKO G [US]) 1 septembre 2005 (2005-09-01) * figure 3 * * alinéa [0030] * * alinéa [0063] - alinéa [0067] * * alinéa [0070] *	1,5-14	G01S19/38 G01S5/02 G01C21/20 G05D1/00
A	GIUSEPPE C CALAFIORE ET AL: "A Distributed Technique for Localization of Agent Formations From Relative Range Measurements", IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS. PART A:SYSTEMS AND HUMANS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 42, no. 5, 1 septembre 2012 (2012-09-01), pages 1065-1076, XP011466327, ISSN: 1083-4427, DOI: 10.1109/TSMCA.2012.2185045 * pages 1066-1067, section "Problem Formulation" *	1-14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	TINGRUI HAN ET AL: "A survey on concurrent network localization for autonomous multi-vehicle systems", 2016 IEEE CHINESE GUIDANCE, NAVIGATION AND CONTROL CONFERENCE (CGNCC), IEEE, 12 août 2016 (2016-08-12), pages 1403-1408, XP033049280, DOI: 10.1109/CGNCC.2016.7828994 [extrait le 2017-01-20] * le document en entier *	1-14	G01S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
30 mars 2020		Hekmat, Taymoor	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		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	
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			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1905041 FA 870257**

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 **30-03-2020**

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
WO 2005081012 A1	01-09-2005	CA 2554417 A1	01-09-2005
		EP 1721186 A1	15-11-2006
		KR 20070015513 A	05-02-2007
		US 2005215269 A1	29-09-2005
		US 2008103696 A1	01-05-2008
		US 2008167051 A1	10-07-2008
		WO 2005081012 A1	01-09-2005
