

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2022/058527 A2

(43) Date de la publication internationale
24 mars 2022 (24.03.2022)

- (51) Classification internationale des brevets :
G01S 5/02 (2010.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2021/075664
- (22) Date de dépôt international :
17 septembre 2021 (17.09.2021)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
FR2009417 17 septembre 2020 (17.09.2020) FR
- (71) Déposant : **THALES** [FR/FR] ; Tour Carpe Diem Place
des Corolles Esplanade Nord, 92400 COURBEVOIE (FR).
- (72) Inventeur : **HEURGUIER, Dominique** ; c/o Thales SIX
GTS France SAS 4, avenue des Louvresses, 92622 GEN-
NEVILLIERS CEDEX (FR).
- (74) Mandataire : **HABASQUE, Etienne** et al. ; LAVOIX, 2,
Place d'Estienne d'Orves, 75441 PARIS CEDEX 09 (FR).

- (81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(54) Title: METHOD FOR CHECKING THE INTEGRITY OF CALIBRATION ON A PLURALITY OF LANDMARKS, ASSOCIATED COMPUTER PROGRAM PRODUCT AND ASSOCIATED INTEGRITY CHECKING DEVICE

(54) Titre : PROCÉDÉ DE CONTRÔLE D'INTÉGRITÉ DU RECALAGE SUR UNE PLURALITÉ D'AMERS, PRODUIT PROGRAMME D'ORDINATEUR ET DISPOSITIF DE CONTRÔLE D'INTÉGRITÉ ASSOCIÉS

(57) Abstract: This method comprises the steps of determining (120) an estimated state vector based on a measurement vector comprising landmark position measurements, landmark direction measurements and distance measurements; of determining (130) a test variable; of determining (140) a decentralization value for the distribution law of said variable, determining (150) a minimum detectable bias based on the decentralization value, on the test variable and on a feature vector associated with this type of failure; and of determining (160) a protective radius based on the or each minimum detectable bias.

(57) Abrégé : Procédé de contrôle d'intégrité du recalage sur une pluralité d'amers, produit programme d'ordinateur et dispositif de contrôle d'intégrité associés Ce procédé comprenant les étapes de détermination (120) d'un vecteur d'état estimé à partir d'un vecteur de mesures comprenant des mesures de position des amers, des mesures de direction des amers et des mesures de distance; de détermination (130) d'une variable de test; de détermination (140) d'une valeur de décentralisation de la loi de distribution de ladite variable, détermination (150) d'un biais minimum détectable à partir de la valeur de décentralisation, de la variable de test et d'un vecteur caractéristique associé à ce type de défaillance; et de détermination (160) d'un rayon de protection à partir du ou de chaque biais minimum détectable.

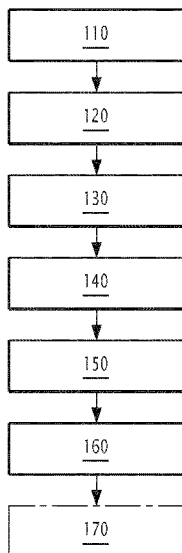


FIG.3



WO 2022/058527 A2

Publiée:

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2(g))*

DESCRIPTION

TITRE : Procédé de contrôle d'intégrité du recalage sur une pluralité d'amers, produit programme d'ordinateur et dispositif de contrôle d'intégrité associés

5

La présente invention concerne un procédé de contrôle d'intégrité du recalage sur une pluralité d'amers.

La présente invention concerne également un produit programme d'ordinateur et un dispositif de contrôle d'intégrité associés à ce procédé.

10

Plus particulièrement, l'invention est applicable lors de la géolocalisation d'un dispositif mobile, notamment d'un engin mobile tel qu'un véhicule ou un aéronef, à l'aide des amers.

Par « amer », on entend tout objet naturel ou artificiel repérable par le dispositif mobile et dont la position est connue ou déterminable.

15

Selon des méthodes déjà connues dans l'état de la technique, il est possible de géolocaliser un dispositif mobile ou de recalculer sa position déterminée par un autre moyen, en utilisant une pluralité d'amers.

20

Pour ce faire, le dispositif mobile est généralement apte à mesurer des directions (azimuts ou gisements) par rapport aux amers et/ou des distances jusqu'à ceux-ci. Ainsi, en analysant ces mesures et les positions connues des amers, il est possible généralement de déterminer ou de préciser la position du dispositif mobile.

25

Les méthodes de géolocalisation par amers restent ainsi utilisables lorsque par exemple la géolocalisation par un système GNSS (de l'anglais « Global Navigation Satellite System ») est difficile ou non-souhaitable, ou lorsque par exemple il est nécessaire de déterminer la position du dispositif mobile en utilisant plusieurs sources redondantes. En outre, en cas d'utilisation par exemple des mesures inertielles pour géolocaliser le dispositif mobile, il est possible de recalculer ces mesures en utilisant la géolocalisation par amers.

30

Comme toutes les méthodes de géolocalisation se basant sur des mesures extérieures, la géolocalisation par amers présente un risque de perte d'intégrité. Cette perte d'intégrité est notamment due aux erreurs et bruits accumulés lors de la prise des mesures, et conduit généralement à une géolocalisation erronée du dispositif mobile.

35

Toutefois, contrairement par exemple aux méthodes de géolocalisation par satellites GNSS, les méthodes de géolocalisation par amers connues ne contrôlent pas l'intégrité de la solution fournie. Ainsi, une telle solution peut comporter des erreurs qui ne seront pas détectées lors la mise en œuvre de ces méthodes.

La présente invention a pour but de proposer une méthode permettant de contrôler l'intégrité des mesures utilisées lors de la géolocalisation d'un dispositif mobile par amers et en cas d'une perte d'intégrité, en avertir l'opérateur exploitant le dispositif mobile ou tout autre système.

5 À cet effet, l'invention a pour objet un procédé de contrôle d'intégrité du recalage sur une pluralité d'amers lors de la géolocalisation d'un dispositif mobile suite à une ou plusieurs défaillances de types prédéterminés.

Le procédé comprenant les étapes suivantes :

10 - acquisition d'une première valeur de probabilité correspondant à la probabilité de détection d'une défaillance et d'une deuxième valeur de probabilité correspondant à la probabilité d'une fausse alerte ;

 - détermination d'un vecteur d'état estimé à partir d'un vecteur de mesures comprenant des mesures de position des amers, des mesures de direction des amers et des mesures de distance jusqu'aux amers à partir du dispositif mobile ;

15 - détermination d'une variable de test correspondant à une distance entre le vecteur de mesures et des mesures théoriques associées au vecteur d'état estimé, la variable de test suivant une loi de distribution prédéterminée ;

 - détermination d'une valeur de décentralisation de la loi de distribution pour les première et deuxième valeurs de probabilité;

20 - pour le ou chaque type de défaillance, détermination d'un biais minimum détectable à partir de la valeur de décentralisation, de la variable de test et d'un vecteur caractéristique associé à ce type de défaillance ;

 - détermination d'un rayon de protection à partir du ou de chaque biais minimum détectable, l'intégrité des mesures dans ledit rayon de protection étant garantie avec la première valeur de probabilité en absence d'une fausse alerte avec la deuxième valeur de probabilité.

Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le procédé de contrôle d'intégrité comprend des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

30 - le vecteur d'état estimé est déterminé à partir d'un modèle linéarisé ;

 - le vecteur d'état estimé est déterminé en utilisant un estimateur du maximum de vraisemblance ;

 - chaque type de défaillance est choisi dans le groupe comprenant :

 - biais scalaire identique sur toutes les mesures de direction ;

35 - biais scalaire identique sur toutes les mesures de distance ;

- biais vectoriel sur les mesures de position d'au moins un amer dans un repère prédéterminé ;

- pour le type de défaillance correspondant au biais vectoriel sur les mesures de position d'au moins un amer, un biais minimum détectable scalaire est déterminé pour
5 chaque axe dudit repère ;

- ladite distance entre le vecteur de mesures et les mesures théoriques associées au vecteur d'état estimé est le carré de la distance de Mahalanobis ;

- ladite loi de distribution prédéterminée est la loi de chi 2 avec K degrés de liberté ;

10 - le nombre K correspond au nombre total de mesures diminué de $2(N - 1)$ où N est le nombre d'amers ;

- la détermination de la valeur de décentralisation comprend :

- détermination d'un seuil d'alerte en intégrité à partir de la deuxième valeur de probabilité et du nombre K et en utilisant la fonction de répartition de ladite loi de distribution ;

15 - détermination de la valeur de décentralisation à partir de la première valeur de probabilité, du nombre K , du seuil d'alerte en intégrité et en utilisant la fonction de répartition de ladite loi de distribution ;

- une étape de déclenchement d'une alerte lorsque le rayon de protection dépasse un seuil de protection ;

20 - lors de l'étape de déclenchement d'une alerte, une alerte est déclenchée en outre lorsque la valeur de décentralisation dépasse le seuil d'alerte en intégrité.

La présente 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.

25 La présente invention a également pour objet un dispositif de contrôle d'intégrité du recalage sur une pluralité d'amers lors de géolocalisation d'un dispositif mobile suite à une ou plusieurs défaillances de types prédéterminés, comprenant des moyens techniques adaptés pour mettre en œuvre le procédé tel que défini précédemment.

30 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 :

- [Fig 1] la figure 1 est une vue schématique d'un système de géolocalisation par amers d'un dispositif mobile, le système de géolocalisation comprenant un dispositif de contrôle d'intégrité selon l'invention ;

- [Fig 2] la figure 2 est une vue schématique du dispositif de contrôle d'intégrité de la figure 1 ; et

- [Fig 3] la figure 3 est un organigramme d'un procédé de contrôle d'intégrité selon l'invention, le procédé étant mis en œuvre par le dispositif de contrôle d'intégrité de la figure 1.

On a en effet représenté sur la figure 1, un système de géolocalisation 10 par amers d'un dispositif mobile 12. Le dispositif mobile 12 est apte à se déplacer par exemple selon deux ou trois degrés de liberté par exemple dans un repère terrestre.

Selon un exemple de réalisation, le dispositif mobile 12 est un engin mobile, tel que par exemple un véhicule terrestre ou un aéronef, embarquant le système de géolocalisation 10. Dans le cas d'un aéronef, il peut s'agir d'un avion ou d'un hélicoptère pilotable par un opérateur et/ou par un système avionique à partir de celui-ci, ou d'un drone pilotable à partir d'un centre de contrôle distant par un opérateur et/ou par un système avionique adapté.

Selon un autre exemple de réalisation, le dispositif mobile 12 est porté par un opérateur ou par tout autre utilisateur et présente par exemple un téléphone portable. Dans ce cas, le système de géolocalisation 10 est par exemple intégré dans le dispositif mobile 12.

Le système de géolocalisation 10 est apte à déterminer la position du dispositif mobile 12 en utilisant notamment N amers 14-1, ..., 14-N.

Chaque amer 14-1, ..., 14-N présente un objet naturel ou artificiel disposé par exemple de manière fixe sur la surface terrestre selon une position connue avec une précision également connue et repérable depuis le dispositif mobile 12. Ainsi, chaque amer présente par exemple un pylône, une éolienne, un phare, un bâtiment, une montagne, un rocher, etc.

Chaque amer 14-1, ..., 14-N est par exemple identifiable par un identifiant qui lui est propre. En outre, selon un mode de réalisation particulier de l'invention, l'identifiant de chaque amer 14-1, ..., 14-N permet d'obtenir sa position en utilisant par exemple une base de données de positions prévue à cet effet. Une telle base de données peut être publiquement accessible ou alors, présenter un accès restreint.

En référence à la figure 1, le système de géolocalisation 10 comprend une pluralité de capteurs 16, un dispositif de traitement 18 et un dispositif de contrôle d'intégrité 20.

Les capteurs 16 sont aptes à déterminer des données de mesure en relation avec chacun des amers 14-1, ..., 14-N.

Avantageusement selon l'invention, chaque mesure déterminée par les capteurs 16 correspond à l'un de type de mesure choisi dans le groupe :

- mesure de position ;
- mesure de direction ;
- mesure de distance.

En particulier, chaque mesure de position correspond à une mesure de position
5 bidimensionnelle ou tridimensionnelles de l'un des amers 14-1,...,14-N. Une telle mesure
est par exemple déterminée par l'un des capteurs 16 en déterminant l'identifiant de l'amer
correspondant et en identifiant la position correspondant à cet identifiant dans la base de
données de positions définie ci-dessus. Dans ce cas, le capteur correspondant se présente
par exemple sous la forme d'un capteur d'images associé à une unité de traitement apte à
10 accéder à la base de données de positions. Selon un autre exemple de réalisation,
l'identification d'au moins certains des amers s'effectue manuellement par l'opérateur.
Dans ce cas, l'opérateur peut par exemple introduire manuellement l'identifiant de l'amer
correspondant ou alors sa position dans le dispositif de contrôle d'intégrité 20.

Selon un autre exemple de réalisation, la position d'au moins l'un des amers 14-
15 1,...,14-N est déterminée en utilisant des informations transmises par l'amer lui-même en
utilisant par exemple des signaux radioélectriques.

Chaque mesure de direction correspond à une mesure d'azimut ou à une mesure
de site ou à une mesure de gisement relative à l'un des amers 14-1,...,14-N. Une telle
mesure est par exemple déterminée par l'un des capteurs 16 en utilisant des mesures
20 optiques et dans le cas d'une mesure d'azimut, en comparant ces mesures avec le cap du
dispositif mobile 12 ou avec une direction fixe dans l'espace.

Chaque mesure de distance correspond à une mesure de distance entre le dispositif
mobile 12 et l'un des amers 14-1,...,14-N. Une telle mesure est réalisée par l'un des
capteurs 16 comprenant par exemple un radar ou un laser ou tout autre dispositif de
25 télémétrie connu en soi.

Le dispositif de traitement 18 est connecté aux capteurs 16 et apte à analyser
l'ensemble des mesures fournies par ces capteurs 16 pour déterminer la position du
dispositif mobile 10 en mettant en œuvre une méthode de géolocalisation. Une telle
méthode de géolocalisation est connue en soi et ne sera pas décrite en détail par la suite.

30 Selon un autre exemple de réalisation, le dispositif de traitement 18 est apte à
déterminer ou à préciser la position du dispositif mobile 10 en utilisant en outre des données
issues d'autres systèmes, comme par exemple un système de géolocalisation par satellites
(système GNSS), selon des méthodes également connues en soi.

Le dispositif de traitement 18 est connecté en outre à un écran permettant par
35 exemple d'afficher la position déterminée. Selon un autre exemple de réalisation, le

dispositif de traitement 18 est connecté à tout autre système apte à utiliser la position déterminée pour par exemple piloter le dispositif mobile 10 lorsqu'il présente un engin mobile.

5 Le dispositif de contrôle d'intégrité 20 permet de contrôler l'intégrité de la position fournie par le dispositif de traitement 18, en mettant en œuvre le procédé de contrôle d'intégrité selon l'invention.

En particulier, le dispositif de contrôle d'intégrité 20 est apte détecter une perte d'intégrité de la position fournie par le dispositif de traitement 18, suite à une ou plusieurs défaillances de types prédéterminés.

10 Chaque type de défaillance est choisi dans le groupe comprenant :

- biais scalaire identique sur toutes les mesures de direction (résultant par exemple de l'apparition d'un biais sur le cap) ;

- biais scalaire identique sur toutes les mesures de distance (résultant par exemple d'un biais occasionné par un défaut de fonctionnement du capteur de télémétrie) ;

15 - biais vectoriel sur les mesures de position d'au moins un amer (résultant par exemple d'une erreur de déréférencement de l'amer).

Pour identifier chaque type de défaillance par la suite, l'indice j variant de 1 à 3 est associé à chaque type de défaillance. Lorsque $j = 1$, il s'agit d'un biais scalaire identique sur toutes les mesures de direction. Lorsque $j = 2$, il s'agit d'un biais scalaire identique sur
20 toutes les mesures de distance. Lorsque $j = 3$, il s'agit d'un biais vectoriel sur les mesures de position d'au moins un amer.

En référence à la figure 2, le dispositif de contrôle d'intégrité 20 comprend un module d'entrée 21, un module de calcul 22 et un module de sortie 23.

25 Le module d'entrée 21 est connecté aux capteurs 16 et est apte à acquérir l'ensemble des mesures déterminées par ces capteurs 16. Le module d'entrée 16 est apte en outre à acquérir des paramètres de contrôle présentant des valeurs de paramétrage du procédé de contrôle d'intégrité.

Selon un exemple de réalisation, ces paramètres de contrôle comprennent :

30 - une première valeur de probabilité P_d correspondant à la probabilité de détection d'une défaillance de l'un des types prédéterminés, la valeur $1 - P_d$ signifiant donc le risque de perte d'intégrité ;

- une deuxième valeur de probabilité P_{fa} correspondant à la probabilité d'une fausse alerte signifiant une perte d'intégrité ;

- un seuil de protection VAL signifiant un rayon de protection maximal dans lequel l'intégrité est garantie avec la première valeur de probabilité P_d en absence d'une fausse alerte avec la deuxième valeur de probabilité P_{fa} .

Les paramètres de contrôle sont par exemple transmis au module d'entrée 21 via
5 une interface homme-machine ou par tout autre système connecté à ce module.

Le module de calcul 22 est apte à analyser les données acquises par le module d'entrée 21 afin de fournir un résultat de contrôle d'intégrité de la position déterminée par le dispositif de traitement 18, comme cela sera expliqué plus en détail par la suite.

Enfin, le module de sortie 23 est apte à fournir le résultat de contrôle d'intégrité à
10 tout système intéressé. Par exemple, lorsque la position du dispositif mobile 10 est affichée sur un écran, le module de sortie 23 est apte à afficher sur le même écran un indicateur d'intégrité de cette position. En variante ou en complément, le module de sortie 23 est apte à lever une alerte en cas d'une perte d'intégrité.

Chacun des modules 21 à 23 se présente par exemple sous la forme d'un logiciel
15 mis en œuvre par un processeur adapté. En variante, au moins l'un de ces modules 21 à 23 se présente au moins partiellement sous la forme d'un circuit logique programmable, tel qu'un circuit de type FPGA (de l'anglais « Field Programmable Gate Array »).

Le procédé de contrôle d'intégrité sera désormais expliqué en référence à la figure
3 présentant un organigramme de ses étapes.

20 Initialement, il est considéré que le dispositif mobile 10 se déplace dans l'espace par exemple selon deux degrés de liberté à proximité des N amers 14-1, ..., 14-N dont les positions bidimensionnelles sont connues. Il est également considéré que les capteurs 16 déterminent l'ensemble des mesures relatives à ces amers, telles que définies précédemment, et que le dispositif de traitement 18 détermine la position du dispositif
25 mobile 10 en utilisant ces mesures.

Lors de l'étape initiale 110, le module d'entrée 21 acquiert l'ensemble des mesures déterminées par les capteurs 16 ainsi que les paramètres de contrôle, tels que définis précédemment.

En particulier, il est considéré par la suite que le module d'entrée 21 acquiert M
30 mesures. Dans ce cas, le nombre M est déterminé selon l'expression suivante :

$$2N + N_a + N_r + 2N_{ar},$$

où

N est le nombre d'amers et donc le nombre de positions bidimensionnelles de ces amers 14-1, ..., 14-N ;

N_a est le nombre de mesures de direction (par exemple des mesures d'azimut) des amers 14-1, ..., 14-N distincts ; et

N_r est le nombre de mesures de distance jusqu'aux amers 14-1, ..., 14-N distincts ;

N_{ar} est le nombre de mesures conjointes, c'est-à-dire le nombre à la fois de mesures de direction et de mesures de distance sur un même amer 14-1, ..., 14-N.

5

À la fin de l'étape 110, le module d'entrée 21 transmet l'ensemble des données acquises au module de calcul 22.

Lors de l'étape suivante 120, le module de calcul 22 estime un vecteur d'état X pour obtenir un vecteur d'état estimé \hat{X} à partir d'un vecteur de mesures Y .

10

Cette estimation est faite en utilisant un modèle linéarisé selon lequel :

$$Y = HX + B + \varepsilon,$$

avec

$$Y = \begin{bmatrix} Y_a \\ Y_r \\ Y_p \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} H_a \\ H_r \\ H_p \end{bmatrix} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_a \\ \varepsilon_r \\ \varepsilon_p \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} x \\ y \\ x_1 \\ y_1 \\ \vdots \\ x_N \\ y_N \end{bmatrix}$$

15

où

B est un biais produit par une défaillance (de l'un des types prédéterminés) ;

Y_a sont les mesures de direction ;

Y_r sont les mesures de distance ;

Y_p sont les mesures de position ;

20

H est une matrice jacobienne ;

ε est un bruit aléatoire supposé être un vecteur aléatoire gaussien ;

(x, y) est la position bidimensionnelle du dispositif mobile 12 ;

$(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)$ sont des positions bidimensionnelles des amers 14-1, ..., 14-N.

Le vecteur d'état estimé \hat{X} est déterminé par application d'un estimateur du maximum de vraisemblance au modèle linéarisé et se présente sous la forme suivante :

25

$$\hat{X} = (H^t \Gamma_\varepsilon^{-1} H)^{-1} H^t \Gamma_\varepsilon^{-1} Y = H^* Y ;$$

$$\Gamma_{\hat{X}} = (H^t \Gamma_\varepsilon^{-1} H)^{-1}$$

où

$$\Gamma_\varepsilon = \begin{bmatrix} \Gamma_a & 0 & 0 \\ 0 & \Gamma_r & 0 \\ 0 & 0 & \Gamma_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_a^2 I_a & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_r^2 I_r & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_p^2 I_p \end{bmatrix}$$

$H^* = (H^t \Gamma_\varepsilon^{-1} H)^{-1} H^t \Gamma_\varepsilon^{-1}$ est une matrice pseudo-inverse pondérée de H ($H^* H = I$) ;

Γ_ε est une matrice de covariance des mesures ;

σ_p est l'écart-type des mesures de position ;

σ_r est l'écart-type des mesures de distance ; et

5 σ_a est l'écart-type des mesures de direction.

Lors de l'étape suivante 130, le module de calcul 22 détermine une variable de test T correspondant à une distance entre le vecteur de mesures Y et des mesures théoriques $H\hat{X}$ associées au vecteur d'état estimé \hat{X} . La variable de test T dépend du bruit ε ainsi que du biais B .

10 Dans l'exemple décrit, ladite distance est le carré de la distance de Mahalanobis déterminée selon l'expression suivante :

$$T(\varepsilon + B) = \Delta Y^t \cdot \Gamma_m^{-1} \Delta Y$$

où

ΔY est le vecteur des résidus linéarisés égal à

$$15 \quad Y - H\hat{X} = Y - HH^*Y = (I - HH^*)Y = (I - HH^*)(\varepsilon + B).$$

Ainsi, la variable de test T prend la forme suivante :

$$T(\varepsilon + B) = Y^t G Y = (\varepsilon + B)^t G (\varepsilon + B)$$

où

$$G = (I - HH^*)^t \Gamma_\varepsilon^{-1} (I - HH^*).$$

20 La variable de test T suit une loi de distribution prédéterminée qui, dans l'exemple décrit, est la loi χ^2 à K degrés de liberté et décentrée selon une valeur de décentralisation λ .

Le nombre K est égal à $M - 2(N + 1)$.

L'espérance mathématique de la variable de test T est $E(T) = K + \lambda$ avec $\lambda = T(B)$.

25 Lors de l'étape 140 suivante, le module de calcul 22 détermine la valeur de décentralisation λ de la loi de distribution pour les première et deuxième valeurs de probabilité.

Pour cela, le module de calcul 22 détermine d'abord un seuil d'alerte en intégrité s^2 à partir de la deuxième valeur de probabilité P_{fa} et du nombre K et en utilisant la fonction de répartition F_{χ^2} de ladite loi de distribution.

30

En particulier,

$$F_{\chi^2}(s^2, K) = 1 - P_{fa}$$

et

$$s = \sqrt{F_{\chi^2}^{-1}(1 - P_{fa}, K)}.$$

Puis, le module de calcul 22 détermine la valeur de décentralisation λ à partir de la première valeur de probabilité P_a , du nombre K , du seuil d'alerte en intégrité s^2 et en utilisant la fonction de répartition de ladite loi de distribution.

5 En particulier,

$$\lambda = F_{\chi^2}^{-1}(s^2, K, 1 - P_a).$$

Lors de l'étape 150 suivante, pour chaque type de défaillance j et chaque mesure i , le module de calcul 22 détermine un biais minimum détectable $B_{min,i,j}$ à partir de la valeur de décentralisation λ , de la variable de test T et d'un vecteur caractéristique associé à ce type de défaillance.

Lorsque $j = 1$ ou 2 , il s'agit d'un biais minimum détectable scalaire $B_{min,i,j}$ qui est déterminé en résolvant l'équation

$$T(B_{min,i,j}) = \lambda$$

en utilisant une méthode connue en soi, comme par exemple la méthode de résolution par dichotomie.

Dans ce cas, lors d'une défaillance de type j , le biais minimum détectable scalaire $B_{min,i,j}$ sur une mesure i peut être exprimé sous la forme suivante :

$$B_{min,i,j} = \left(\sqrt{\frac{\lambda}{W_{i,j}^t G W_{i,j}}} \right) W_{i,j}$$

où $W_{i,j}$ le vecteur binaire caractéristique associé au type de défaillance j pour une mesure i .

Lors d'une défaillance avec un biais inférieur à $B_{min,i,j}$, l'erreur maximale de position a pour expression :

$$\Delta X_{max,i} = H^* B_{min,i,j}$$

Lorsque $j = 3$, il s'agit d'un biais minimum détectable vectoriel $B_{min,i,j}$.

25 Ce biais sur la mesure de position i peut être considéré comme une somme pondérée d'un biais b_{xi} sur l'abscisse x et d'un biais b_{yi} sur l'ordonnée y .

Ce biais $B_{min,i,j}$ peut être alors identifié en utilisant l'expression suivante :

$$B_{min,i,j} = b_x W_{x,i,j} + b_y W_{y,i,j}$$

où $W_{x,i,j}$ et $W_{y,i,j}$ sont des vecteurs caractéristique pour respectivement l'abscisse x et l'ordonnée y .

Les biais b_{xi} et b_{yi} peuvent être déterminés en utilisant, tout comme dans le cas précédent, l'expression :

$$T(B_{min,i,j}) = B^t G B = \lambda.$$

En particulier, le biais b_{yi} peut être identifié en fonction du biais b_{xi} par l'expression
5 suivante :

$$b_{yi} = \frac{-G(x_i, y_i)b_{xi} \pm \sqrt{G(x_i, y_i)^2 b_{xi}^2 - G(y_i, y_i)(b_{xi}^2 G(x_i, x_i) - \lambda)}}{G(y_i, y_i)}$$

où

$G(x_i, y_i)$ est l'élément de la matrice G associé en ligne à la valeur x_i et en colonne à la valeur y_i ;

10 $G(x_i, x_i)$ est l'élément de la matrice G associé en ligne à la valeur x_i et en colonne à la valeur x_i ;

$G(y_i, y_i)$ est l'élément de la matrice G associé en ligne à la valeur y_i et en colonne à la valeur y_i .

Le biais vectoriel minimum détectable $B_{min,i,j} = \begin{bmatrix} b_{xi} \\ b_{yi} \end{bmatrix}$ de la mesure de position i qui
15 impacte le plus fortement l'estimation peut être déterminé en recherchant le biais b_{xi} qui maximise le biais d'estimation $|\Delta X_{i,j}|$ avec
 $\Delta X_{i,j}(b_{xi}) = H^* B_i = b_{xi} H^* W_{x,i,j} + b_{yi} H^* W_{y,i,j}$:

$$b_{xi} = \max_{b_{xi}}(\Delta X_{i,j}(b_{xi})) \text{ avec } 0 \leq b_{xi} \leq \left(\sqrt{\frac{\lambda}{W_{x,i,j}^t G W_{x,i,j}}} \right) W_{x,i,j}$$

b_{yi} étant ensuite déterminé selon la formule précédente.

20 Lors de l'étape suivante 160, le module de calcul 22 détermine un rayon de protection HPL dans lequel l'intégrité est garantie avec la première valeur de probabilité P_d en absence d'une fausse alerte avec la deuxième valeur de probabilité P_{fa} .

Ce rayon est déterminé selon l'expression suivante :

$$HPL \approx \max_{i,j} \left(\sqrt{\sqrt{(H^* B_{min,i,j}(x))^2 + (H^* B_{min,i,j}(y))^2}} \right)$$

25 où

$H^* B_{min,i,j}(x)$ est la projection du biais minimal détectable (pour la mesure i lors de la défaillance de type j) sur l'abscisse de l'estimateur de position ;

$H^* B_{min,i,j}(y)$ est la projection du biais minimal détectable sur l'ordonnée.

À la fin de cette étape 160, le module de calcul 22 transmet au module de sortie 23 la valeur *HPL* qui l'affiche par exemple sur l'écran correspondant et la transmet à tout autre système intéressé.

5 Lors de l'étape suivante 170 optionnelle, le module de calcul 22 déclenche une alerte lorsque le rayon de protection *HPL* dépasse le seuil de protection *VAL* ou lorsque la valeur de décentralisation λ dépasse le seuil d'alerte en intégrité s^2 .

Dans ce cas, la solution fournie par le dispositif de traitement 18 n'est alors plus considérée comme intègre.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de contrôle d'intégrité du recalage sur une pluralité d'amers (14-1, ..., 14-N) lors de la géolocalisation d'un dispositif mobile (12) suite à une ou plusieurs défaillances de types prédéterminés, comprenant les étapes suivantes :
- 5
- acquisition (110) d'une première valeur de probabilité (P_d) correspondant à la probabilité de détection d'une défaillance et d'une deuxième valeur de probabilité (P_{fa}) correspondant à la probabilité d'une fausse alerte ;
 - détermination (120) d'un vecteur d'état estimé (\hat{X}) à partir d'un vecteur de mesures (Y) comprenant des mesures de position des amers (14-1, ..., 14-N), des mesures de direction des amers (14-1, ..., 14-N) et des mesures de distance jusqu'aux amers (14-1, ..., 14-N) à partir du dispositif mobile (12) ;
 - détermination (130) d'une variable de test (T) correspondant à une distance entre le vecteur de mesures (Y) et des mesures théoriques associées au vecteur d'état estimé (\hat{X}), la variable de test (T) suivant une loi de distribution prédéterminée ;
 - détermination (140) d'une valeur de décentralisation (λ) de la loi de distribution pour les première et deuxième valeurs de probabilité (P_d, P_{fa}) ;
 - pour le ou chaque type de défaillance, détermination (150) d'un biais minimum détectable ($B_{min,i,j}$) à partir de la valeur de décentralisation (λ), de la variable de test (T) et d'un vecteur caractéristique ($W_{i,j}$) associé à ce type de défaillance ;
 - détermination (160) d'un rayon de protection (HPL) à partir du ou de chaque biais minimum détectable ($B_{min,i,j}$), l'intégrité des mesures dans ledit rayon de protection (HPL) étant garantie avec la première valeur de probabilité (P_d) en absence d'une fausse alerte avec la deuxième valeur de probabilité (P_{fa}).
- 10
- 15
- 20
- 25
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le vecteur d'état estimé (\hat{X}) est déterminé à partir d'un modèle linéarisé.
3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel le vecteur d'état estimé (\hat{X}) est déterminé en utilisant un estimateur du maximum de vraisemblance.
- 30
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque type de défaillance est choisi dans le groupe comprenant :

- biais scalaire identique sur toutes les mesures de direction ;
- biais scalaire identique sur toutes les mesures de distance ;
- biais vectoriel sur les mesures de position d'au moins un amer (14-1, ..., 14-N) dans un repère prédéterminé.

5

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel pour le type de défaillance correspondant au biais vectoriel sur les mesures de position d'au moins un amer (14-1, ..., 14-N), un biais minimum détectable scalaire (b_{xi}, b_{yi}) est déterminé pour chaque axe dudit repère.

10

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite distance entre le vecteur de mesures (Y) et les mesures théoriques associées au vecteur d'état estimé (\hat{X}) est le carré de la distance de Mahalanobis.

15

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite loi de distribution prédéterminée est la loi de chi 2 avec K degrés de liberté.

20

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel le nombre K correspond au nombre total de mesures (M) diminué de $2(N - 1)$ où N est le nombre d'amers (14-1, ..., 14-N).

25

9. Procédé selon la revendication 7 ou 8, dans lequel la détermination de la valeur de décentralisation (λ) comprend :

- détermination d'un seuil d'alerte en intégrité (s^2) à partir de la deuxième valeur de probabilité (P_{fa}) et du nombre K et en utilisant la fonction de répartition (F_{χ^2}) de ladite loi de distribution ;
- détermination de la valeur de décentralisation (λ) à partir de la première valeur de probabilité (P_d), du nombre K , du seuil d'alerte en intégrité (s^2) et en utilisant la fonction de répartition (F_{χ^2}) de ladite loi de distribution.

30

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une étape (170) de déclenchement d'une alerte lorsque le rayon de protection (HPL) dépasse un seuil de protection (VAL).

11. Procédé selon les revendications 9 et 10, dans lequel, lors de l'étape (170) de déclenchement d'une alerte, une alerte est déclenchée en outre lorsque la valeur de décentralisation (λ) dépasse le seuil d'alerte en intégrité (s^2).

5 **12.** 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.

10 **13.** Dispositif de contrôle d'intégrité (20) du recalage sur une pluralité d'amers (14-1, ..., 14-N) lors de la géolocalisation d'un dispositif mobile (12) suite à une ou plusieurs défaillances de types prédéterminés, comprenant des moyens techniques (21, 22, 23) adaptés pour mettre en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11.

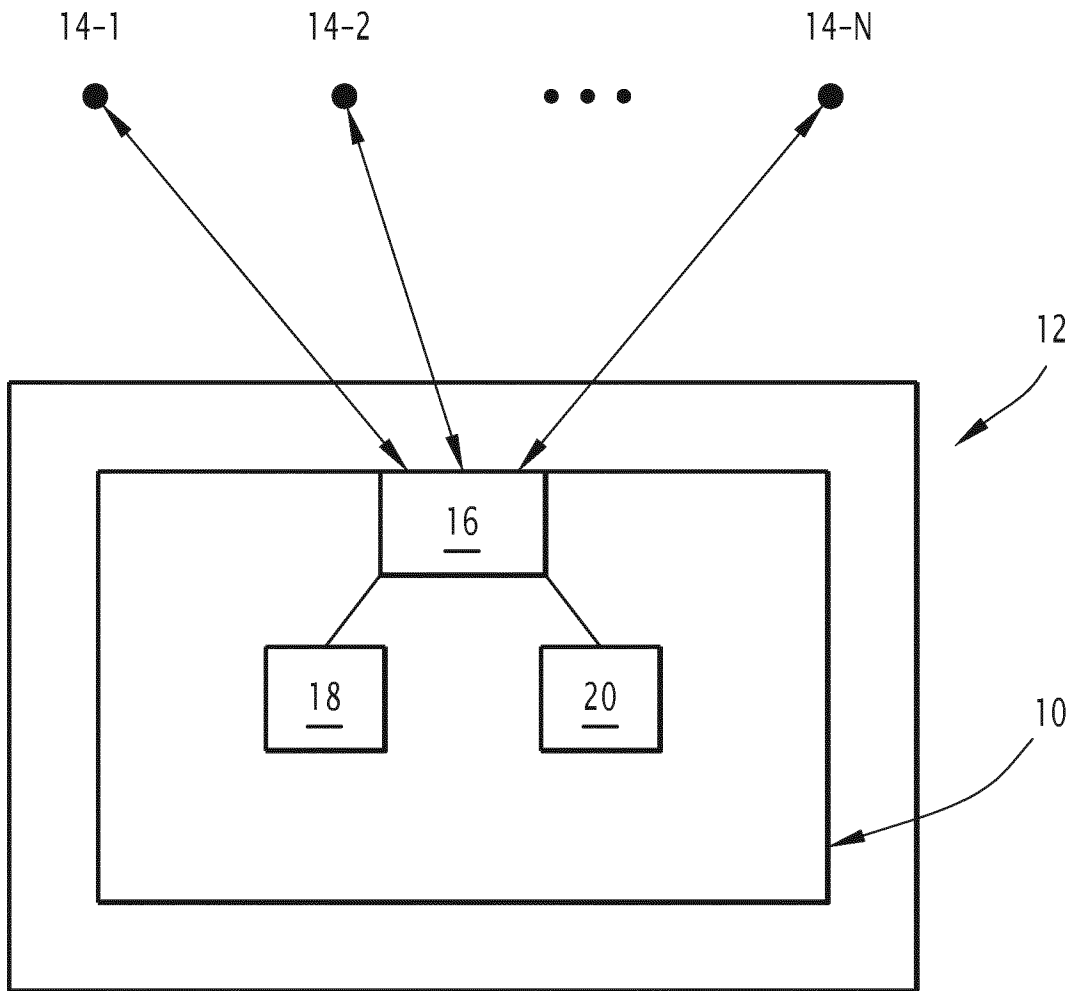


FIG.1

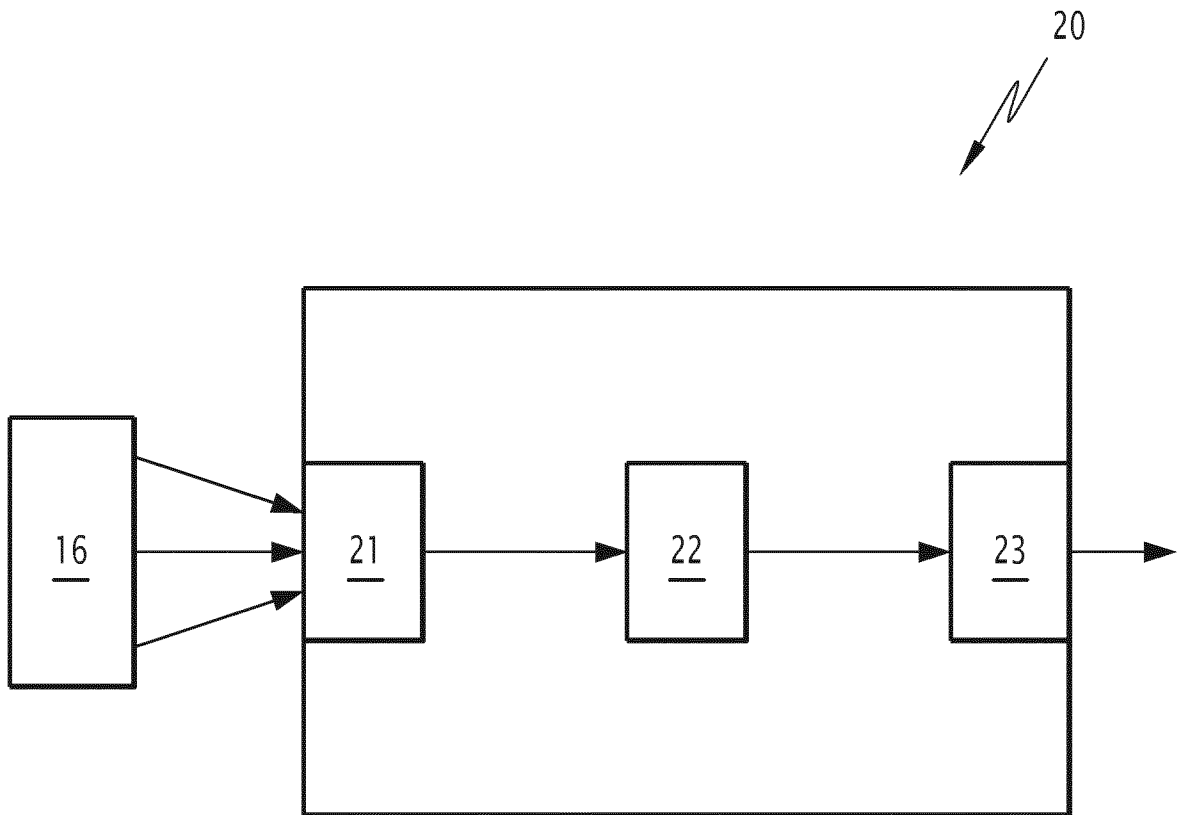


FIG.2

3/3

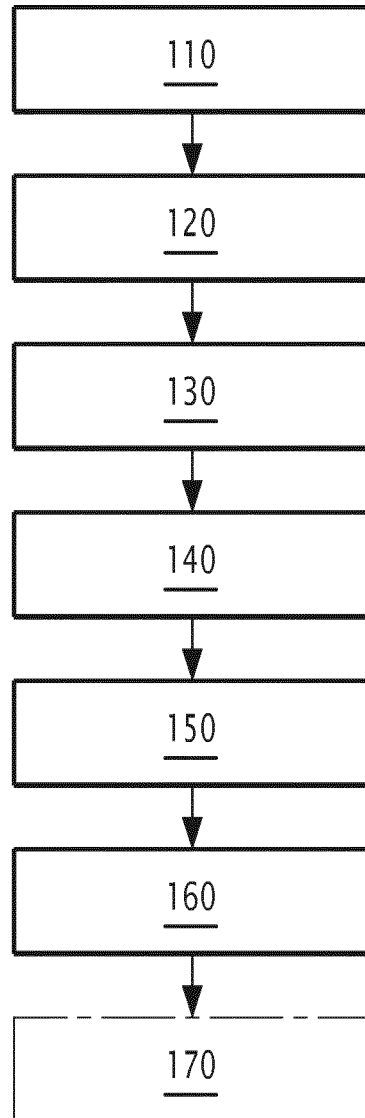


FIG.3