

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
26 janvier 2012 (26.01.2012)

PCT

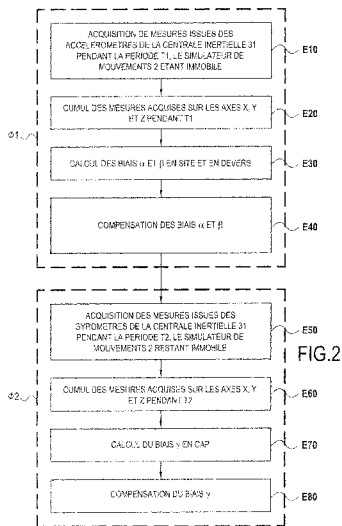
(10) Numéro de publication internationale
WO 2012/010809 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
G01C 21/16 (2006.01) G01P 21/00 (2006.01)
G01C 25/00 (2006.01) G12B 5/00 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2011/051770
- (22) Date de dépôt international :
21 juillet 2011 (21.07.2011)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1056063 23 juillet 2010 (23.07.2010) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : MBDA FRANCE [FR/FR]; 37 boulevard de Montmorency, F-75016 Paris (FR).
- (72) Inventeur; et
(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : BOURZIER, Laurent [FR/FR]; 5 allée Jean Antoine Houdon, F-18000 Bourges (FR).
- (74) Mandataires : BOURA, Olivier et al.; Cabinet BEAU DE LOMENIE, 158 rue de l'Université, F-75340 Paris Cedex 07 (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD AND SYSTEM FOR HARMONIZING A REFERENCE FRAME OF AN ANGULAR POSITIONER WITH RESPECT TO A TERRESTRIAL REFERENCE FRAME

(54) Titre : PROCÉDE ET SYSTEME D'HARMONISATION D'UN REFERENTIEL D'UN POSITIONNEUR ANGULAIRE PAR RAPPORT A UN REFERENTIEL TERRESTRE.



- E10 ACQUISITION OF THE MEASUREMENTS ARISING FROM THE ACCELEROMETERS OF THE INERTIAL PLATFORM 31 DURING THE PERIOD T1, THE MOTION SIMULATOR 2 BEING STATIONARY
- E20 AGGREGATION OF THE MEASUREMENTS ACQUIRED ON THE X, Y AND Z AXES DURING T1
- E30 CALCULATION OF THE BIASES α AND β IN ELEVATION AND IN SLANT
- E40 COMPENSATION FOR THE BIASES α AND β
- E50 ACQUISITION OF THE MEASUREMENTS ARISING FROM THE GYROMETERS OF THE INERTIAL PLATFORM 31 DURING THE PERIOD T2, THE MOTION SIMULATOR 2 REMAINING STATIONARY
- E60 AGGREGATION OF THE MEASUREMENTS ACQUIRED ON THE X, Y AND Z AXES DURING T2
- E70 CALCULATION OF THE BIAS γ IN HEADING
- E80 COMPENSATION FOR THE BIAS γ

(57) Abstract : The method of harmonization according to the invention comprises; - a step of obtaining (E20,E60), on the basis of inertial information measured (E10,E50) by a measurement device aboard the angular positioner, during at least one predetermined period of operation (T1/T2), data representative of a local intensity of gravity seen by the measurement device and/or a rate of terrestrial rotation, the angular positioner being held fixed during said at least one period of operation; -- a step of evaluating (E30,E70) at least one angular bias affecting the reference frame of the positioner on the basis of the data obtained; and - a step of harmonizing (E40,E80) the reference frame of the positioner with respect to the terrestrial reference frame by compensating for said at least one angular bias thus evaluated.

(57) Abrégé : Le procédé d'harmonisation selon l'invention comporte; - une étape d'obtention (E20,E60), à partir d'informations inertielles mesurées (E10,E50) par un dispositif de mesure embarqué par le positionneur angulaire, durant au moins une période de fonctionnement (T1/T2) prédéterminée, de données représentatives d'une intensité de pesanteur locale vue par le dispositif de mesure et/ou d'une vitesse de rotation terrestre, le positionneur angulaire étant maintenu fixe pendant ladite au moins une période de fonctionnement; -- une étape d'évaluation (E30,E70) d'au moins un biais angulaire affectant le référentiel du positionneur à partir des données obtenues; et - une étape d'harmonisation (E40,E80) du référentiel du positionneur par rapport au référentiel terrestre en compensant ledit au moins un biais angulaire ainsi évalué.

WO 2012/010809 A1

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h)

Procédé et système d'harmonisation d'un référentiel d'un positionneur angulaire par rapport à un référentiel terrestre

Arrière-plan de l'invention

5 L'invention concerne l'harmonisation, par rapport au référentiel terrestre, d'un référentiel d'un positionneur angulaire adapté à recevoir un mobile ou un engin volant dont on souhaite par exemple tester les performances (ex. un missile, un avion, une fusée, etc.).

10 Par harmonisation du référentiel du positionneur angulaire par rapport au référentiel terrestre, on entend ici l'orientation des axes du positionneur angulaire par rapport aux axes du référentiel terrestre, c'est-à-dire l'orientation d'un axe du référentiel du positionneur angulaire en direction du nord géographique et le positionnement des deux autres axes du référentiel du positionneur angulaire par rapport à la verticale du lieu
15 (i.e. l'un orienté selon la verticale du lieu et l'autre perpendiculaire à cette verticale).

Le positionneur angulaire est par exemple un simulateur de mouvements angulaires, un banc de contrôle ou une table micrométrique. Il peut être notamment utilisé dans le cadre d'une simulation hybride, telle
20 que décrite dans le document FR 2 927 418.

L'invention s'applique ainsi de façon privilégiée mais non limitative au domaine de l'aéronautique.

De façon connue, les mobiles susceptibles d'être embarqués sur ce type de positionneurs angulaires sont classiquement équipés d'un
25 dispositif de mesure d'informations inertielles équipé de gyroscopes, de gyromètres et/ou d'accéléromètres, tel qu'une centrale inertielle. Les informations inertielles délivrées par le dispositif de mesure sont relatives notamment à la vitesse angulaire et/ou à l'accélération du mobile qu'il équipe.

30 L'harmonisation du référentiel du positionneur angulaire par rapport à un référentiel donné, typiquement par rapport au référentiel terrestre, facilite l'exploitation des informations inertielles délivrées par le dispositif de mesure lors d'une simulation hybride.

Elle permet également de ne pas fausser la navigation du
35 mobile embarqué sur le positionneur angulaire et dont on souhaite tester les performances.

En outre, l'harmonisation des référentiels entre eux assure la répétitivité et la précision des tests effectués sur le mobile (ou sur ses équipements, par exemple sur la centrale inertielle du mobile), garantissant ainsi la fiabilité des résultats de la simulation hybride.

5 Pour réaliser une telle harmonisation, il est connu de recourir à des équipements coûteux et peu courants tels qu'un chercheur de nord, un théodolite et/ou des niveaux électroniques de précision, comme décrit notamment dans le document FR 2 927 418. L'utilisation de ces équipements nécessite cependant de faire appel à un personnel qualifié.

10 Or, lorsqu'une réparation est effectuée sur le positionneur angulaire suite à une panne de celui-ci, il arrive que l'on perde la référence du positionneur angulaire par rapport au référentiel terrestre, i.e., le référentiel du positionneur angulaire n'est plus harmonisé par rapport au référentiel terrestre. Il est alors difficile de disposer rapidement
15 des équipements et du personnel nécessaires pour harmoniser de nouveau les référentiels entre eux, ce qui peut être préjudiciable à l'avancement des tests en cours réalisés sur le mobile.

Il existe donc un besoin de disposer d'un procédé d'harmonisation du référentiel du positionneur angulaire par rapport au
20 référentiel terrestre qui ne souffre pas de tels inconvénients, et en particulier qui permette une harmonisation simple et fiable des référentiels entre eux dans un délai relativement court.

Objet et résumé de l'invention

25 La présente invention répond à ce besoin en proposant un procédé d'harmonisation d'un référentiel d'un positionneur angulaire embarquant un dispositif de mesure d'informations inertielles par rapport à un référentiel terrestre, ce procédé comportant :

- une étape d'obtention, à partir d'informations inertielles mesurées par le
30 dispositif de mesure durant au moins une période de fonctionnement prédéterminée, de données représentatives d'une intensité de pesanteur locale vue par le dispositif de mesure et/ou d'une vitesse de rotation terrestre, le positionneur angulaire étant maintenu fixe pendant ladite au moins une période de fonctionnement ;
- 35 – une étape d'évaluation d'au moins un biais angulaire affectant le référentiel du positionneur à partir des données obtenues ; et

- une étape d’harmonisation du référentiel du positionneur par rapport au référentiel terrestre en compensant ledit au moins un biais angulaire ainsi évalué.

5 Corrélativement, l’invention vise également un système d’harmonisation, par rapport à un référentiel terrestre, d’un référentiel d’un positionneur angulaire embarquant un dispositif de mesure d’informations inertielles, ce système comportant :

- des moyens d’obtention, à partir d’informations inertielles mesurées par le dispositif de mesure durant au moins une période de fonctionnement
10 prédéterminée, de données représentatives d’une intensité de pesanteur locale vue par le dispositif de mesure et/ou d’une vitesse de rotation terrestre, le positionneur angulaire étant maintenu fixe pendant ladite au moins une période de fonctionnement ;
- des moyens d’évaluation d’au moins un biais angulaire affectant le
15 référentiel du positionneur à partir des données obtenues ; et
- des moyens d’harmonisation du référentiel du positionneur par rapport au référentiel terrestre comprenant des moyens de compensation dudit au moins un biais angulaire ainsi évalué.

20 L’invention propose ainsi une technique simple, rapide et fiable, pour harmoniser le référentiel du positionneur angulaire avec le référentiel terrestre. A cette fin, elle utilise avantageusement les informations inertielles délivrées par un dispositif de mesure tel qu’une centrale inertielle, classiquement présente sur les mobiles susceptibles d’êtres embarqués sur le positionneur angulaire.

25 Ainsi, les informations inertielles sont par exemple mesurées à l’aide d’au moins un accéléromètre et/ou d’au moins un gyromètre équipant le dispositif de mesure. La précision du dispositif de mesure utilisé devra être en correspondance avec la précision d’harmonisation recherchée.

30 L’invention ne nécessite donc pas le recours à des équipements coûteux et difficiles à mettre en œuvre tels qu’un chercheur de nord couplé à un théodolite et/ou des niveaux de précision.

35 Au cours de l’étape d’obtention, on peut notamment obtenir des données représentatives d’une intensité de pesanteur locale vue par le dispositif de mesure ; il est alors possible d’évaluer, au cours de l’étape d’évaluation, un biais angulaire en site (i.e. entre l’axe longitudinal du

positionneur angulaire et le plan horizontal) et/ou en devers (i.e. entre l'axe transversal, perpendiculaire à l'axe longitudinal, et le plan horizontal) à partir de ces données.

Corrélativement, les moyens d'obtention peuvent être aptes à
5 obtenir des données représentatives d'une intensité de pesanteur locale vue par le dispositif de mesure et les moyens d'évaluation peuvent être aptes à évaluer un biais angulaire en site et/ou en devers à partir de ces données.

En variante, il est également possible, au cours de l'étape
10 d'obtention, d'obtenir des données représentatives d'une vitesse de rotation terrestre ; on peut alors évaluer, au cours de l'étape d'évaluation, un biais angulaire en cap (i.e. entre l'axe longitudinal du positionneur angulaire et le nord géographique) à partir de ces données.

Corrélativement, les moyens d'obtention peuvent être aptes à
15 obtenir des données représentatives d'une vitesse de rotation terrestre et les moyens d'évaluation peuvent être aptes à évaluer un biais angulaire en cap à partir de ces données.

L'invention permet ainsi de compenser un biais en site et/ou en
20 devers et/ou en cap existant entre le référentiel du positionneur angulaire et le référentiel terrestre.

On notera, que bien que le référentiel du positionneur angulaire
n'est pas nécessairement affecté par ces trois types de biais, on envisagera préférentiellement l'existence de ces trois types de biais pour
25 s'assurer d'une harmonisation fiable du référentiel du positionneur angulaire par rapport au référentiel terrestre.

En variante, un contrôle du positionnement des axes non
corrigés par l'invention pourra être envisagé en ayant recours à d'autres équipements de précision tels qu'un chercheur de nord couplé à un
théodolite et/ou des niveaux de précision.

30 Dans un mode particulier de réalisation dans lequel au moins un biais angulaire en site et/ou en devers et un biais angulaire en cap sont compensés, la compensation du biais angulaire en site et/ou en devers est réalisée avant la période de fonctionnement durant laquelle les informations inertielles utilisées pour l'évaluation du biais en cap sont
35 mesurées par le dispositif de mesure.

De cette sorte, on évite que des erreurs entachent les informations inertielles utilisées pour l'évaluation du biais en cap, les biais angulaires en site et/ou en devers susceptibles d'affecter le positionneur angulaire ayant été corrigés. La précision de l'harmonisation des référentiels est ainsi améliorée.

Dans un mode particulier de réalisation, au cours de l'étape d'obtention, les données représentatives d'une intensité de pesanteur locale vue par le dispositif de mesure et/ou d'une vitesse de rotation terrestre sont obtenues en cumulant les informations inertielles mesurées sur ladite au moins une période de fonctionnement.

Ceci permet notamment de s'affranchir d'effets entachant les informations inertielles délivrées par le dispositif de mesure qui peuvent être discrètes. En effet, en cumulant les informations inertielles sur la période de fonctionnement, on lisse les bruits de mesure. En outre, on peut également ainsi tenir compte des arrondis résultant de la numérisation des informations inertielles.

Dans un mode particulier de réalisation, les différentes étapes du procédé d'harmonisation selon l'invention sont déterminées par des instructions de programmes d'ordinateurs.

En conséquence, l'invention vise aussi un programme d'ordinateur sur un support d'informations, ce programme étant susceptible d'être mis en œuvre dans un système d'harmonisation ou plus généralement dans un ordinateur, ce programme comportant des instructions adaptées à la mise en œuvre des étapes d'un procédé d'harmonisation tel que décrit ci-dessus.

Ce programme peut utiliser n'importe quel langage de programmation, et être sous la forme de code source, code objet, ou de code intermédiaire entre code source et code objet, tel que dans une forme partiellement compilée, ou dans n'importe quelle autre forme souhaitable.

L'invention vise aussi un support d'informations lisible par un ordinateur, et comportant des instructions d'un programme d'ordinateur tel que mentionné ci-dessus.

Le support d'informations peut être n'importe quelle entité ou dispositif capable de stocker le programme. Par exemple, le support peut comporter un moyen de stockage, tel qu'une ROM, par exemple un CD

ROM ou une ROM de circuit microélectronique, ou encore un moyen d'enregistrement magnétique, par exemple une disquette (floppy disc) ou un disque dur.

5 D'autre part, le support d'informations peut être un support transmissible tel qu'un signal électrique ou optique, qui peut être acheminé via un câble électrique ou optique, par radio ou par d'autres moyens. Le programme selon l'invention peut être en particulier téléchargé sur un réseau de type Internet.

10 Alternativement, le support d'informations peut être un circuit intégré dans lequel le programme est incorporé, le circuit étant adapté pour exécuter ou pour être utilisé dans l'exécution du procédé en question.

Brève description des dessins

15 D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description faite ci-dessous, en référence aux dessins annexés qui en illustrent un exemple de réalisation dépourvu de tout caractère limitatif. Sur les figures :

- 20 - la figure 1 représente, sous forme schématique, un système d'harmonisation conforme à l'invention, dans un mode particulier de réalisation ;
- la figure 2 représente, sous forme d'organigramme, les principales étapes d'un procédé d'harmonisation conforme à l'invention, dans un mode particulier de réalisation dans lequel il est mis en œuvre par le système représenté sur la figure 1 ;
- 25 - les figures 3A et 3B représentent des exemples de biais en site et en devers affectant le référentiel d'un positionneur angulaire ;
- les figures 4A à 4C représentent des exemples d'informations inertielles (différences de vitesses linéaires) cumulées sur une première période de fonctionnement pour l'évaluation des biais en site et en devers représentés sur les figures 3A et 3B ;
- 30 - les figures 5A et 5B représentent un exemple de biais en cap affectant le référentiel d'un positionneur angulaire ; et
- les figures 6A à 6C représentent des exemples d'informations inertielles (différences d'angles) cumulées sur une seconde période de
- 35

fonctionnement pour l'évaluation du biais en cap représenté sur les figures 5A et 5B.

Description détaillée d'un mode de réalisation

5 La **figure 1** représente un système 1 d'harmonisation d'un référentiel d'un positionneur angulaire 2 par rapport à un référentiel terrestre, conforme à l'invention, dans un mode particulier de réalisation.

Comme mentionné précédemment, par harmonisation du référentiel du positionneur angulaire 2 par rapport au référentiel terrestre, 10 on entend ici l'orientation des axes du positionneur angulaire 2 par rapport aux axes du référentiel terrestre, c'est-à-dire par rapport au nord géographique et à la verticale du lieu où se trouve le positionneur angulaire.

L'harmonisation du référentiel du positionneur angulaire 2 par 15 rapport au référentiel terrestre peut être mis en œuvre par le système 1 notamment suite à une réparation du positionneur angulaire ou à une opération de maintenance réalisée sur le positionneur angulaire et qui a introduit un ou plusieurs biais angulaires entre le référentiel du positionneur angulaire et le référentiel terrestre.

20 Dans l'exemple envisagé ici, le positionneur angulaire 2 est un simulateur de mouvements angulaires comprenant une table « 3 axes » 21, commandée à l'aide d'un boîtier de commande numérique 22 et adaptée à recevoir un mobile ou engin volant 3.

Le mobile 3 peut être notamment un missile, un drone, un 25 avion, une fusée, etc. Il est classiquement équipé d'une centrale inertielle 31 embarquant des outils de mesure tels que des gyromètres (ou des gyroscopes) et des accéléromètres (non représentés sur la figure 1), permettant à la centrale inertielle de fournir des informations inertielles gyrométriques et accélérométriques lorsque celle-ci est en 30 fonctionnement.

Dans le mode de réalisation envisagé ici, seule la centrale inertielle 31 est embarquée sur le simulateur de mouvements, pour simplifier la mise en œuvre de l'invention. La centrale inertielle 31 constitue un dispositif de mesure d'informations inertielles embarqué par 35 le positionneur angulaire 2 au sens de l'invention.

Toutefois, en variante, d'autres éléments réels du mobile 3 pourraient également être embarqués sur le simulateur de mouvements, comme par exemple le calculateur ou un équipement de guidage du mobile.

5 En outre, l'invention s'applique également à d'autres positionneurs angulaires tels que par exemple un simulateur de mouvements angulaires comprenant une table « 5 axes », une table micrométrique ou un banc de contrôle, embarquant des dispositifs de mesure d'informations inertielles.

10 Le simulateur de mouvements angulaires 2 peut réaliser ici des déplacements angulaires autour d'un axe longitudinal X (roulis), d'un axe transversal Y (tangage) et d'un axe vertical Z (lacet), et ainsi appliquer sur la centrale inertielle 31 des mouvements angulaires autour de ces trois axes. Ces mouvements angulaires sont appliqués par la table 21 en
15 fonction de commandes cinématiques numériques reçues du boîtier 22.

Les commandes cinématiques numériques reçues du boîtier 22 comprennent notamment une position angulaire, exprimée sous la forme de trois composantes, correspondant respectivement aux trois axes du simulateur de mouvements. Elles peuvent également comprendre une
20 vitesse et une accélération angulaires.

Le principe de fonctionnement d'une table « 3 axes » étant connu de l'homme du métier, il ne sera pas décrit plus en détails ici.

Au sens de l'invention, on considèrera que le simulateur de mouvements 2 est maintenu fixe lorsqu'il ne réalise aucun déplacement
25 angulaire, autrement dit, lorsqu'il n'applique aucun mouvement angulaire sur la centrale inertielle 31 et maintient celle-ci dans une position fixe dite de référence.

De manière générale, les informations inertielles mesurées par les gyromètres et les accéléromètres de la centrale inertielle 31 sont
30 représentatives d'une part, des effets des mouvements appliqués par le simulateur de mouvements 2 sur la centrale inertielle, et d'autre part, des effets terrestres (intensité de la pesanteur locale et vitesse de rotation terrestre) vus par la centrale inertielle. Il en découle donc que lorsque le simulateur de mouvements 2 est maintenu immobile et n'applique aucun
35 mouvement sur la centrale inertielle 31, ces informations inertielles représentent uniquement les effets terrestres vus par la centrale inertielle.

Les informations inertielles mesurées par la centrale inertielle 31 sont fournies ici à un dispositif informatique ou ordinateur 4, via des liaisons électroniques et mécaniques connues en soi.

5 Le dispositif informatique 4 comprend notamment une mémoire vive 41, une mémoire morte 42 et une mémoire non volatile 43. Il dispose également de moyens de communication 44 avec le simulateur de mouvements 2 (ex. port série ou parallèle relié au boîtier 22 de commande du simulateur de mouvements), ainsi que d'un processeur 45. Les moyens de communication 44 du dispositif informatique 4 et le boîtier
10 de commande 22 sont reliés par des liaisons mécaniques et électroniques connues en soi et non décrites ici.

La mémoire morte 42 constitue un support d'enregistrement lisible par le processeur 45 et sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur comportant des instructions pour l'exécution des étapes du
15 procédé d'harmonisation selon l'invention décrites maintenant en référence à la **figure 2**.

Dans le mode de réalisation décrit ici, on envisage l'harmonisation des trois axes mobiles X, Y et Z du référentiel du simulateur de mouvements 2 par rapport au référentiel terrestre.
20 Toutefois, l'invention s'applique également à un positionneur angulaire ayant seulement un ou deux axes mobiles. Dans un tel cas, les axes immobiles du positionneur angulaire pourront être positionnés au préalable par des instruments de précision, lors par exemple de la construction de l'installation intégrant le positionneur angulaire.

25 En outre, par souci de simplification, on suppose ici que les axes du simulateur de mouvements 2 et les axes de la centrale inertielle 31 sont parallèles ou confondus. On désignera par (X,Y,Z) le référentiel de la centrale inertielle 31.

Ainsi, en évaluant les biais angulaires existant entre les axes X, Y et Z de la centrale inertielle 31 et le référentiel terrestre, on évalue les
30 biais angulaires existant entre le référentiel du simulateur de mouvements angulaires 2 et le référentiel terrestre. Bien entendu, l'invention s'applique également quand un ou plusieurs écarts angulaires connus entre les axes du simulateur de mouvements 2 et les axes de la centrale inertielle 31
35 existent, moyennant la prise en compte de ces écarts.

Pour réaliser l'harmonisation des trois axes du simulateur de mouvements 2 par rapport au référentiel terrestre, on procède ici en deux phases successives $\Phi 1$ et $\Phi 2$. Plus précisément :

– au cours de la phase $\Phi 1$, on identifie et on compense des biais angulaires en site et en devers susceptibles d'affecter le positionnement des axes du simulateur de mouvements par rapport à la verticale du lieu ;
5 et

– au cours de la phase $\Phi 2$, on identifie et on compense un biais angulaire en cap susceptible d'affecter le positionnement des axes du simulateur de
10 mouvements par rapport au nord géographique.

Préférentiellement, la phase $\Phi 2$ succèdera à la phase $\Phi 1$ afin d'éviter que les biais angulaires en site et en devers n'entachent les mesures inertielles utilisées pour la compensation du biais en cap. On obtient ainsi, à l'issue de la phase $\Phi 2$, une harmonisation fiable du
15 référentiel du simulateur de mouvements par rapport au référentiel terrestre.

Pour identifier les biais en site, en devers et en cap susceptibles d'affecter les axes du simulateur de mouvements par rapport au référentiel terrestre, l'invention propose avantageusement d'utiliser les
20 mesures fournies par la centrale inertielle 31 alors que le simulateur de mouvements 2 est maintenu fixe. Comme mentionné précédemment, dans ce cas, les informations inertielles mesurées par la centrale inertielle 31 reflètent les effets terrestres s'appliquant sur la centrale inertielle. En particulier, les informations inertielles mesurées par les accéléromètres de
25 la centrale inertielle traduisent l'intensité de la pesanteur locale s'exerçant sur la centrale inertielle, tandis que les informations inertielles mesurées par les gyromètres de la centrale inertielle traduisent la vitesse de rotation terrestre.

Nous allons maintenant décrire plus en détails le déroulement
30 des deux phases $\Phi 1$ et $\Phi 2$.

Le simulateur de mouvements 2 et la centrale inertielle 31 sont mis en fonctionnement.

Par souci de simplification, le simulateur de mouvements 2 est réglé de telle sorte que lorsqu'il maintient la centrale inertielle 31 dans sa
35 position de référence Pref, la mesure délivrée par le boîtier de commande numérique 22 pour chaque axe est égale à zéro. En variante, un autre

réglage peut être envisagé dès lors qu'il est pris en compte ultérieurement au cours de l'harmonisation, de façon connue en soi.

Pour assurer le fonctionnement de la centrale inertielle 31, on déroule ici, à l'aide d'une simulation informatique mise en œuvre par le dispositif informatique 4, une trajectoire du mobile 3, selon un principe
5 similaire à celui décrit par exemple dans le document FR 2 927 418.

En variante, tout autre moyen, par exemple informatique, permettant de maintenir en fonctionnement le simulateur de mouvements 2 et la centrale inertielle 31 peut être envisagé.

10 Le déroulement de la trajectoire couvre une période suffisamment longue pour assurer le fonctionnement de la centrale inertielle 31 pendant au moins deux périodes de fonctionnement T1 et T2 de durées prédéterminées, associées respectivement aux phases $\Phi 1$ et $\Phi 2$.

15 En variante, deux trajectoires distinctes du mobile 3 pourront être déroulées par le dispositif informatique 4 de sorte à assurer le fonctionnement de la centrale inertielle respectivement pendant les périodes de fonctionnement T1 et T2.

Pendant toute la durée des deux périodes de fonctionnement T1
20 et T2 rencontrées au cours de la trajectoire déroulée par le dispositif informatique 4, on s'assure que le simulateur de mouvements 2 ne reçoive aucune commande numérique du dispositif informatique 4 : le simulateur de mouvements 2 est ainsi maintenu fixe et la centrale inertielle 31 se trouve dans sa position de référence Pref. Autrement dit, durant le
25 déroulement des deux périodes de fonctionnement T1 et T2 rencontrées au cours de la trajectoire, le simulateur de mouvements 2 n'applique aucun mouvement à la centrale inertielle 31 et la maintient dans sa position de référence Pref.

Ainsi, pendant la durée des deux périodes de fonctionnement T1
30 et T2 rencontrées au cours de cette trajectoire, les informations inertielles mesurées et fournies par la centrale inertielle 31 sont exclusivement liées aux effets terrestres exercés sur la centrale inertielle. Plus précisément, la centrale inertielle 31 fournit, dans son repère orthonormé (X,Y,Z) :
– des informations inertielles mesurées par ses accéléromètres selon les
35 axes (X,Y,Z) de la centrale inertielle, et notées dVX, dVY et dVZ ; et

– des informations inertielles mesurées par ses gyromètres autour des axes (X,Y,Z) de la centrale inertielle, et notées $d\theta_X$, $d\theta_Y$ et $d\theta_Z$.

Un exemple de positionnement des axes (X,Y,Z) de la centrale inertielle 31 avant harmonisation est représenté sur les **figures 3A et 3B**,
5 sur lesquelles :

– les points O et C désignent respectivement le point de concours des trois axes X, Y et Z et le centre de la Terre ;

– les axes N et E désignent respectivement le nord géographique et l'équateur ; et

10 – le plan H représente le plan horizontal perpendiculaire à la verticale du lieu au point O.

On notera que préférentiellement, l'invention sera mise en œuvre avec des équipements (simulateur de mouvements 2, centrale inertielle 31, etc.) ayant fonctionné auparavant suffisamment longtemps
15 pour avoir atteint une température interne de fonctionnement qui varie peu au cours des mesures réalisées pour évaluer et compenser les biais angulaires affectant le référentiel du simulateur de mouvements.

Comme mentionné précédemment, au cours de la phase Φ_1 , l'invention propose d'identifier et de compenser les biais angulaires en site
20 et en devers susceptibles d'exister entre les axes de la centrale inertielle et ceux du référentiel terrestre.

A cette fin, en référence aux figures 3A et 3B, l'invention utilise avantageusement le fait que la pesanteur (représentée par des flèches en gras sur la figure 3A) est un effet terrestre qui s'applique radialement et
25 est dirigé vers le centre C de la Terre, autrement dit selon la verticale du lieu. Les informations inertielles fournies par les accéléromètres de centrale inertielle 31 reflétant l'intensité de la pesanteur s'exerçant au point O, les axes du simulateur de mouvements seront correctement orientés par rapport à la verticale du lieu si et seulement si seule
30 l'information inertielle selon l'axe Z de la centrale inertielle est non nulle. Autrement dit, si la centrale inertielle 31 mesure une accélération non nulle (ou non proche de zéro en fonction de la précision des mesures) sur plus d'un de ses axes, c'est que son axe Z n'est pas harmonisé avec la verticale du lieu, et que les axes X et Y ne sont pas inclus dans le plan
35 horizontal H perpendiculaire à la verticale du lieu.

En référence aux figures 3A et 3B, dans la suite de la description, on désignera :

- par α , l'écart (ou biais) angulaire existant entre l'axe X de la centrale inertielle 31 et le plan horizontal H. L'angle α représente, au sens de
5 l'invention, le biais en site du référentiel de la centrale inertielle (et donc ici du simulateur de mouvements 2) par rapport au référentiel terrestre (cf. figure 3A) ; et
- par β , l'écart angulaire existant entre l'axe ZB et la droite (OC) (cf. figure 3B), sachant que :
 - 10 o l'axe ZB est la projection de l'axe Z sur le plan B ; et
 - o le plan B est le plan perpendiculaire au plan A contenant la droite (OC), le plan A étant le plan méridien contenant la droite (OC).

L'angle β représente, au sens de l'invention, le biais en devers du référentiel de la centrale inertielle (et donc du simulateur de mouvements
15 2) par rapport au référentiel terrestre.

En référence à la figure 2, le dispositif informatique 4 acquiert des informations inertielles $dVX(t+k \times Te)$, $dVY(t+k \times Te)$ et $dVZ(t+k \times Te)$, mesurées et fournies par les accéléromètres de la centrale inertielle 31 à
20 divers instants d'échantillonnage $t+k \times Te$ pendant la période de fonctionnement T1, Te désignant la période d'échantillonnage et k un entier positif (étape E10). On suppose ici que la durée de la période de fonctionnement T1 est de N1 périodes d'échantillonnage, soit $N1 \times Te$.

Les informations inertielles dVX , dVY et dVZ caractérisent des différences de vitesses mesurées sur une durée connue. Dans le mode de
25 réalisation décrit ici, ces informations inertielles sont discrétisées par la centrale inertielle. Elles permettent l'évaluation d'accélération linéaires, exprimées en unités du fait de la discrétisation, sur ladite durée connue (i.e. en multipliant les informations inertielles par le pas de numérisation exprimé par exemple en mètre par seconde, et en divisant le résultat de
30 cette multiplication par la durée de mesure exprimée en secondes). Ces accélérations linéaires représentent une mesure de l'intensité de la pesanteur locale répartie selon les trois axes (X,Y,Z) de la centrale inertielle.

Plus précisément, les mesures $dVX(t+k \times Te)$, $dVY(t+k \times Te)$ et
35 $dVZ(t+k \times Te)$ délivrées par la centrale inertielle caractérisent l'évolution de la vitesse perçue par les accéléromètres de la centrale inertielle 31 entre

deux instants d'échantillonnage successifs $t+(k-1) \times T_e$ et $t+k \times T_e$ ($0 < k \leq N1$). Il s'agit, dans le mode de réalisation décrit ici, d'informations numérisées, c'est-à-dire discrètes : chaque mesure fournie par la centrale inertielle au dispositif informatique 4 se présente ainsi sous la forme d'un
 5 nombre entier, de sorte que le différentiel de vitesses réellement associé à cette mesure est obtenu, à un reste de numérisation près, en multipliant la mesure par le pas de numérisation noté δ .

Ainsi, le différentiel de vitesses $dVX1(t+k \times T_e)$ réellement mesuré sur l'axe X de la centrale inertielle 31 à l'instant $t+k \times T_e$, est égale
 10 à :

$$dVX1(t+k \times T_e) = dVX(t+k \times T_e) \times \delta + \eta_X$$

η_X caractérisant le reste de numérisation, qui est inférieur au pas de numérisation.

De même, les différentiels de vitesses $dVY1(t+k \times T_e)$ et
 15 $dVZ1(t+k \times T_e)$, réellement mesurés sur les axes Y et Z respectivement de la centrale inertielle 31 à l'instant $t+k \times T_e$, sont égaux à :

$$dVY1(t+k \times T_e) = dVY(t+k \times T_e) \times \delta + \eta_Y$$

$$dVZ1(t+k \times T_e) = dVZ(t+k \times T_e) \times \delta + \eta_Z$$

η_Y et η_Z caractérisant les restes de numérisation, inférieurs au pas de
 20 numérisation.

On notera que dans le mode de réalisation décrit ici, les restes de numérisations η_X , η_Y et η_Z sont ajoutés par la centrale inertielle 31, avant numérisation, aux différentiels de vitesses mesurés pour l'instant d'échantillonnage suivant.

25 Les mesures discrètes délivrées par les accéléromètres de la centrale inertielle vont donc présenter une variation en fonction du temps liée à la numérisation, ainsi qu'à la présence de bruit de mesure.

Pour lisser ces effets et exploiter de façon fiable les informations inertielles discrètes dVX , dVY et dVZ fournies par la centrale inertielle 31,
 30 un traitement est mis en œuvre, dans le mode de réalisation décrit ici, par l'ordinateur 4.

Plus précisément, on évalue pour chaque axe X, Y et Z, à chaque instant $t+n \times T_e$ durant la période $T1$ (i.e. $0 < k \leq N1$), le cumul des informations inertielles discrètes acquises aux instants précédents (étape
 35 E20). Puis, on calcule, à partir des cumuls ainsi obtenus, une estimation

de l'accélération mesurée par la centrale inertielle sur la période T1 pour les trois axes, notée respectivement AX1, AY1 et AZ1.

Ainsi, on évalue, pour chaque instant d'échantillonnage $t+n \times Te$ de la période T1 (i.e. $0 < n \leq N1$), les valeurs cumulées CumulDVX, CumulDVY et CumulDVZ suivantes :

$$CumulDVX(t + nTe) = \sum_{k=1}^n dVX(t + kTe)$$

$$CumulDVY(t + nTe) = \sum_{k=1}^n dVY(t + kTe)$$

$$CumulDVZ(t + nTe) = \sum_{k=1}^n dVZ(t + kTe)$$

Les figures 4A à 4C donnent un exemple des valeurs CumulDVX, CumulDVY et CumulDVZ obtenues en fonction du temps sur la période de fonctionnement T1. Les valeurs numériques ne sont données qu'à titre indicatif.

On observe sur les figures 4A et 4B que les cumuls CumulDVX et CumulDVY des informations inertielles discrètes dVX et dVY ne sont pas nuls sur les axes X et Y de la centrale inertielle : ceci confirme l'existence de biais angulaires en site α et en devers β entre les axes de la centrale inertielle 31 et le référentiel terrestre. L'obtention d'une valeur cumulée CumulDVZ non nulle sur l'axe Z est revanche attendue compte-tenu du fait que l'intensité de pesanteur locale s'applique selon l'axe Z.

Puis, on évalue à partir des cumuls ainsi calculés, une estimation de l'accélération, mesurée sur chaque axe pendant la période T1 de durée $N1 \times Te$, selon les équations suivantes (étape E20) :

$$AX1 = CumulDVX(t + N1 \times Te) \times \frac{\delta}{N1 \times Te} \quad (1)$$

$$AY1 = CumulDVY(t + N1 \times Te) \times \frac{\delta}{N1 \times Te} \quad (2)$$

$$AZ1 = CumulDVZ(t + N1 \times Te) \times \frac{\delta}{N1 \times Te} \quad (3)$$

Les données AX1, AY1 et AZ1 constituent des données représentatives d'une intensité de pesanteur locale vue par la centrale inertielle 31 au sens de l'invention.

La période T1 sera choisie suffisamment longue (i.e. N1 suffisamment grand) pour réduire les effets de la numérisation et des bruits de mesure. Un tel choix ne posera pas de difficulté à l'homme du métier.

- 5 Pour évaluer les biais α et β , l'invention s'appuie sur le fait que de façon connue, en présence des biais angulaires α et β , l'accélération que devrait théoriquement mesurer la centrale inertielle 31 s'exprime sur les axes X, Y et Z en fonction de l'intensité G de la pesanteur locale. Plus précisément, si l'on désigne respectivement par AX2, AY2 et AZ2 cette
- 10 accélération sur les axes X, Y, Z :

$$AX2 = -G \sin \alpha \quad (4)$$

$$AY2 = G \sin \beta \cos \alpha \quad (5)$$

$$AZ2 = G \cos \beta \cos \alpha \quad (6)$$

On pourra prendre comme valeur de G, en première approximation :

$$G = 9.7803 + 0.0519 \sin^2(Lat) + 3.08 \times 10^{-6} \times Alt$$

- 15 *Lat* et *Alt* désignant respectivement la latitude et l'altitude (connues) du lieu considéré (i.e. où se trouvent le simulateur de mouvements 2 et la centrale inertielle 31). On notera que dans cette expression, l'altitude *Alt* est exprimée dans un repère dit aéronautique dans lequel l'axe Z est dirigé vers le bas (de cette sorte l'altitude d'un point situé au-dessus du
- 20 niveau de la mer est négative).

En variante, la valeur de G pourra être évaluée à l'aide d'algorithmes de calcul de l'intensité de la pesanteur locale plus précis, connus de l'homme du métier et non détaillés ici, en fonction de la précision recherchée dans le cadre de l'application considérée.

- 25 Il découle des équations (4), (5) et (6) que :

$$\beta = \arctan\left(\frac{AY2}{AZ2}\right) \quad (7)$$

$$\alpha = \arcsin\left(-\frac{AX2}{G}\right) \quad (8)$$

- Une estimation des valeurs des biais angulaires α et β est alors obtenue par l'ordinateur 4 en remplaçant dans les équations (7) et (8) les
- 30 variables AX2, AY2 et AZ2 par les données AX1, AY1 et AZ1 obtenues grâce aux équations (1), (2) et (3) (étape E30).

La compensation des biais ainsi estimés est alors réalisée ici par l'ordinateur 4 en envoyant, via les moyens de communication 44 au boîtier de contrôle 22 du simulateur de mouvements 2, l'opposé de la valeur des angles α et β ainsi évalués (étape E40).

5 Sur réception de l'opposé des valeurs des angles α et β , le simulateur de mouvements 2 applique à la centrale inertielle 31 ces valeurs, de sorte à modifier sa position de référence Pref et à corriger les biais angulaires existant avec le référentiel terrestre. La nouvelle position de référence Pref' de la centrale inertielle 31 est alors harmonisée par
10 rapport à la verticale du lieu.

En variante, l'incorporation des angles $(-\alpha)$ et $(-\beta)$ dans le boîtier 22 peut être effectué par un opérateur.

Cette étape clôture la phase $\Phi 1$. A l'issue de cette phase, les axes de la centrale inertielle 31, et donc ceux du simulateur de
15 mouvements 2, sont harmonisés avec la verticale du lieu.

Dans le mode de réalisation envisagé ici, suite à la phase $\Phi 1$ visant à corriger les biais angulaires en site et en devers affectant le référentiel du simulateur de mouvements 2, la phase $\Phi 2$ visant à corriger un éventuel biais angulaire en cap affectant le référentiel du simulateur de
20 mouvements est mise en œuvre.

La phase $\Phi 2$ diffère de la phase $\Phi 1$ en ce qu'elle utilise, pour estimer la valeur du biais en cap γ affectant le référentiel de la centrale inertielle 31 et du simulateur de mouvements 2 par rapport au nord géographique, les informations inertielles $d\theta X$, $d\theta Y$ et $d\theta Z$ mesurées et
25 fournies par les gyromètres de la centrale inertielle, pendant une période de fonctionnement T2.

Les informations inertielles $d\theta X$, $d\theta Y$ et $d\theta Z$ caractérisent des différences d'angles mesurées sur une durée connue. Dans le mode de réalisation décrit ici, ces informations inertielles sont discrétisées par la
30 centrale inertielle. Elles permettent l'évaluation de vitesses angulaires, exprimées en unités du fait de la discrétisation, sur ladite durée connue. Ces vitesses angulaires reflètent la vitesse de rotation terrestre répartie selon les trois axes (X,Y,Z) de la centrale inertielle.

Les **figures 5A et 5B** illustrent le vecteur de rotation terrestre Ωt et le référentiel (X,Y,Z) de la centrale inertielle, après correction des
35 biais en site et en devers α et β . Sur ces figures :

- Lat désigne la latitude du lieu où se trouve le simulateur de mouvements 2 embarquant la centrale inertielle 31 ; et
- γ désigne l'angle en cap affectant le référentiel (X,Y,Z) de la centrale inertielle par rapport au nord géographique.

5 Pour évaluer l'angle γ , l'invention utilise avantageusement le fait que lorsque les référentiels sont harmonisés, la centrale inertielle 31 doit théoriquement mesurer une valeur de rotation terrestre GY2 nulle sur son axe Y. En outre, les informations inertielles que devraient théoriquement mesurer les gyromètres de la centrale inertielle 31, en l'absence de biais
10 angulaire en cap, s'expriment pour les axes X et Z sous la forme :

$$GX2 = \|\Omega t\| \times \cos(Lat) \quad (9)$$

$$GZ2 = -\|\Omega t\| \times \sin(Lat) \quad (10)$$

où $\|\Omega t\|$ désigne la norme du vecteur Ωt .

En présence d'un biais angulaire en cap par rapport au nord géographique, la vitesse de rotation théoriquement mesurée par les
15 gyromètres de la centrale inertielle 31 sur l'axe Y s'exprime sous la forme suivante :

$$GY2 = -\|\Omega t\| \times \cos(Lat) \times \sin(\gamma) \quad (11)$$

Il découle de l'équation (11) que :

$$\gamma = \arcsin \left[-\frac{GY2}{\|\Omega t\| \times \cos(Lat)} \right] \quad (12)$$

20

Ainsi, en référence à la figure 2, de façon similaire à la phase $\Phi 1$, pour évaluer l'angle en cap γ , on procède de la manière suivante.

En premier lieu, le dispositif informatique 4 acquiert des informations inertielles $d\theta X(t+k \times Te)$, $d\theta Y(t+k \times Te)$ et $d\theta Z(t+k \times Te)$,
25 mesurées et fournies par les gyromètres de la centrale inertielle 31 à divers instants d'échantillonnage $t+k \times Te$ pendant la période de fonctionnement T2 (étape E50). On suppose ici que la durée de la période de fonctionnement T2 est de N2 périodes d'échantillonnage soit $N2 \times Te$.

Comme pour la période T1 durant la période T2, on s'assure
30 que le simulateur de mouvements 2 ne reçoive aucune commande numérique du dispositif informatique 4 : le simulateur de mouvements 2

est ainsi maintenu fixe et la centrale inertielle 31 se trouve dans sa position de référence Pref' (i.e. position de référence corrigée des biais angulaires α et β). Autrement dit, durant la période T2, le simulateur de mouvements 2 n'applique aucun mouvement à la centrale inertielle 31 et la maintient dans sa position de référence Pref'.

Les informations inertielles $d\theta X(t+k \times Te)$, $d\theta Y(t+k \times Te)$ et $d\theta Z(t+k \times Te)$ sont représentatives du déplacement angulaire perçu par les gyromètres de la centrale inertielle 31 entre deux instants d'échantillonnage successifs, et mesuré respectivement selon les trois axes (X,Y,Z) de la centrale inertielle. Il s'agit dans le mode de réalisation décrit ici, comme pour les informations dVX , dVY et dVZ , d'informations numérisées, c'est-à-dire discrètes : chaque mesure fournie par la centrale inertielle 31 au dispositif informatique 4 se présente ainsi sous la forme d'un nombre entier, de sorte que la vitesse de rotation réellement associée à cette mesure peut être obtenue, à un reste de numérisation près, en multipliant la mesure par le pas de numérisation δ' (exprimé par exemple en radians), et en divisant le résultat de cette multiplication par la durée (Te) pendant laquelle est réalisée la mesure, exprimée en secondes.

Le différentiel d'angles $d\theta X1(t+k \times Te)$ réellement mesuré sur l'axe X de la centrale inertielle 31 à l'instant $t+k \times Te$, est égal à :

$$d\theta X1(t + k \times Te) = d\theta X(t + k \times Te) \times \delta' + \eta X'$$

$\eta X'$ caractérisant le reste de numérisation, inférieur au pas de numérisation.

De même, les différentiels d'angles $d\theta Y1(t+k \times Te)$ et $d\theta Z1(t+k \times Te)$, réellement mesurés sur les axes Y et Z respectivement de la centrale inertielle 31 à l'instant $t+k \times Te$, sont égaux à :

$$d\theta Y1(t + k \times Te) = d\theta Y(t + k \times Te) \times \delta' + \eta Y'$$

$$d\theta Z1(t + k \times Te) = d\theta Z(t + k \times Te) \times \delta' + \eta Z'$$

$\eta Y'$ et $\eta Z'$ caractérisant les restes de numérisation inférieurs au pas de numérisation.

On notera que dans le mode de réalisation décrit ici, comme pour les différentiels de vitesses dVX , dVY et dVZ , les restes de numérisations $\eta X'$, $\eta Y'$ et $\eta Z'$ sont ajoutés par la centrale inertielle 31,

avant numérisation, aux différentiels d'angles mesurés pour l'instant d'échantillonnage suivant.

Les mesures discrètes délivrées par les gyromètres de la centrale inertielle 31 vont donc présenter une variation en fonction du temps liée à la numérisation, ainsi qu'à la présence de bruit de mesure.

Pour lisser ces effets et exploiter de façon fiable les informations inertielles discrètes $d\theta X$, $d\theta Y$ et $d\theta Z$ fournies par la centrale inertielle 31, un traitement similaire à celui décrit pour les informations dVX , dVY et dVZ , est mis en œuvre par l'ordinateur 4.

Plus précisément, on évalue pour chaque axe X, Y et Z, à chaque instant $t+k \times Te$ durant la période $T2$ ($0 < k \leq N2$), le cumul des informations inertielles discrètes acquises aux instants précédents (étape E60).

Puis, on calcule, à partir des cumuls ainsi obtenus, une estimation de la vitesse de rotation vue par la centrale inertielle sur la période $T2$ pour les trois axes, notée respectivement $GX1$, $GY1$ et $GZ1$.

Ainsi, on évalue, pour chaque instant d'échantillonnage $t+n \times Te$ de la période $T2$ ($0 < n \leq N2$), les valeurs cumulées $Cumuld\theta X$, $Cumuld\theta Y$ et $Cumuld\theta Z$ suivantes :

$$\begin{aligned}
 Cumuld\theta X(t+n \times Te) &= \sum_{k=1}^n d\theta X(t+k \times Te) \\
 Cumuld\theta Y(t+n \times Te) &= \sum_{k=1}^n d\theta Y(t+k \times Te) \\
 Cumuld\theta Z(t+n \times Te) &= \sum_{k=1}^n d\theta Z(t+k \times Te)
 \end{aligned}$$

Les **figures 6A à 6C** donnent un exemple des valeurs $Cumuld\theta X$, $Cumuld\theta Y$ et $Cumuld\theta Z$ obtenues en fonction du temps sur la période de fonctionnement $T2$. Les valeurs numériques ne sont données qu'à titre indicatif.

On observe sur la figure 6B que le cumul $Cumuld\theta Y$ des informations inertielles discrètes $d\theta Y$ n'est pas nul sur l'axe Y de la centrale inertielle : ceci confirme l'existence d'un biais angulaire en cap γ entre les axes de la centrale inertielle 31 et les axes du référentiel terrestre.

Puis, on évalue à partir des cumuls ainsi calculés, une estimation de la vitesse de rotation, mesurée sur chaque axe pendant la période T2 de durée N2×Te, selon les équations suivantes (étape E60) :

$$GX1 = Cumuld\theta X(t + N2 \times Te) \times \frac{\delta'}{N2 \times Te} \quad (13)$$

$$5 \quad GY1 = Cumuld\theta Y(t + N2 \times Te) \times \frac{\delta'}{N2 \times Te} \quad (14)$$

$$GZ1 = Cumuld\theta Z(t + N2 \times Te) \times \frac{\delta'}{N2 \times Te} \quad (15)$$

Les données GX1, GY1 et GZ1 constituent des données représentatives d'une vitesse de rotation terrestre vue par la centrale inertielle 31 au sens de l'invention.

10 La période T2 sera choisie suffisamment longue (i.e. N2 suffisamment grand) pour réduire les effets de la numérisation et des bruits de mesure. Un tel choix ne posera pas de difficulté à l'homme du métier.

15 Une estimation de la valeur du biais angulaire γ est alors obtenue par l'ordinateur 4 en remplaçant dans l'équation (12) la variable GY2 par la valeur GY1 obtenue grâce à l'équation (14) (étape E70). La valeur de $\|\Omega_r\|$ est connue par ailleurs de l'homme du métier.

20 On notera que l'évaluation de la valeur du biais angulaire γ ne nécessite pas, à proprement parler, l'évaluation des données GX1 et GZ1, la valeur de la vitesse de rotation terrestre $\|\Omega_r\|$ étant connue en soi. Ainsi, dans une variante de réalisation, l'étape E60 peut ne comporter que l'évaluation de la donnée GY1.

25 La compensation du biais angulaire γ ainsi estimé est alors réalisée ici par l'ordinateur 4 en envoyant, via les moyens de communication 44 au boîtier de contrôle 22 du simulateur de mouvements 2, l'opposé de la valeur du biais angulaire γ ainsi évalué (étape E80).

30 Sur réception de l'opposé de la valeur l'angle γ , le simulateur de mouvements 2 applique cette valeur à la centrale inertielle 31, de sorte à modifier sa position de référence Pref' et à corriger le biais angulaire en cap existant avec le référentiel terrestre. La nouvelle position de référence Pref'' de la centrale inertielle 31 est alors harmonisée par rapport au nord géographique.

En variante, l'incorporation de l'angle $(-\gamma)$ dans le boîtier de contrôle 22 peut être effectuée par un opérateur.

5 Cette étape clôture la phase $\Phi 2$. A l'issue de cette phase, les axes de la centrale inertielle 31, et donc ceux du simulateur de mouvements 2, sont harmonisés avec la verticale du lieu et avec le nord géographique, c'est-à-dire avec le référentiel terrestre.

On notera que l'harmonisation du référentiel du simulateur de mouvements est réalisée ici en envoyant au simulateur de mouvements l'opposé des valeurs des biais angulaires α , β et γ évalués via l'invention, de sorte que celui-ci puisse les prendre en compte dans ses commandes numériques lorsqu'il applique des mouvements sur la centrale inertielle 31, ou plus généralement sur les mobiles qu'il embarque. Toutefois d'autres façons de compenser les biais angulaires en site, en devers et en cap pourraient être envisagées.

15

REVENDEICATIONS

1. Procédé d'harmonisation par rapport à un référentiel terrestre d'un référentiel d'un positionneur angulaire (2) apte à recevoir un mobile ou un engin volant, ledit positionneur angulaire embarquant un dispositif de mesure (31) d'informations inertielles dudit mobile ou engin volant, le procédé comportant :
- une étape d'obtention (E20,E60), à partir d'informations inertielles mesurées (E10,E50) par le dispositif de mesure (31) durant au moins une période de fonctionnement (T1,T2) prédéterminée, de données représentatives d'une intensité de pesanteur locale vue par le dispositif de mesure et/ou d'une vitesse de rotation terrestre, le positionneur angulaire étant maintenu fixe pendant ladite au moins une période de fonctionnement et les données représentatives d'une intensité de pesanteur locale vue par le dispositif de mesure et/ou d'une vitesse de rotation terrestre étant obtenues en cumulant lesdites informations inertielles mesurées sur ladite au moins une période de fonctionnement ;
 - une étape d'évaluation (E30,E70) d'au moins un biais angulaire (α, β, γ) affectant le référentiel du positionneur à partir des données obtenues ; et
 - une étape d'harmonisation (E40,E80) du référentiel du positionneur par rapport au référentiel terrestre en compensant ledit au moins un biais angulaire ainsi évalué.
2. Procédé d'harmonisation selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'au cours de l'étape d'obtention (E20), on obtient des données représentatives d'une intensité de pesanteur locale vue par le dispositif de mesure et en ce qu'au cours de l'étape d'évaluation (E30), on évalue un biais angulaire en site (α) et/ou en devers (β) à partir de ces données.
3. Procédé d'harmonisation selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce qu'au cours de l'étape d'obtention (E60), on obtient des données représentatives d'une vitesse de rotation terrestre et en ce qu'au cours de l'étape d'évaluation (E70), on évalue un biais angulaire (γ) en cap à partir de ces données.

4. Procédé d'harmonisation selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit positionneur angulaire est un simulateur de mouvements ou un banc de contrôle ou une table micrométrique.

5

5. Procédé d'harmonisation selon la revendication 1 caractérisé en ce que les informations inertielles sont mesurées à l'aide d'au moins un accéléromètre et/ou d'au moins un gyromètre équipant le dispositif de mesure.

10

6. Procédé d'harmonisation selon la revendication 3 caractérisé en ce que, lorsqu'au moins un biais angulaire en site et/ou en devers et un biais angulaire en cap sont compensés, la compensation du biais angulaire en site et/ou en devers (E40) est réalisée avant la période de fonctionnement (T2) durant laquelle les informations inertielles utilisées pour l'évaluation du biais en cap sont mesurées par le dispositif de mesure (31).

15

7. Système d'harmonisation (1), par rapport à un référentiel terrestre, d'un référentiel d'un positionneur angulaire (2) apte à recevoir un mobile ou un engin volant, ledit positionneur angulaire embarquant un dispositif de mesure (31) d'informations inertielles dudit mobile ou engin volant, le système comportant :

20

– des moyens d'obtention, à partir d'informations inertielles mesurées par le dispositif de mesure durant au moins une période de fonctionnement (T1,T2) prédéterminée, de données représentatives d'une intensité de pesanteur locale vue par le dispositif de mesure et/ou d'une vitesse de rotation terrestre, le positionneur angulaire (2) étant maintenu fixe pendant ladite au moins une période de fonctionnement, lesdits moyens d'obtention étant aptes à obtenir les données représentatives d'une intensité de pesanteur locale vue par le dispositif de mesure et/ou d'une vitesse de rotation terrestre en cumulant lesdites informations inertielles mesurées sur ladite au moins une période de fonctionnement ;

25

30

– des moyens d'évaluation d'au moins un biais angulaire affectant le référentiel du positionneur à partir des données obtenues ; et

35

– des moyens d'harmonisation du référentiel du positionneur par rapport au référentiel terrestre comprenant des moyens de compensation dudit au moins un biais angulaire ainsi évalué.

5 8. Système d'harmonisation selon la revendication 7 caractérisé en ce que les moyens d'obtention sont aptes à obtenir des données représentatives d'une intensité de pesanteur locale vue par le dispositif de mesure et en ce que les moyens d'évaluation sont aptes à évaluer un biais angulaire en site et/ou en devers à partir de ces données.

10 9. Système d'harmonisation selon la revendication 7 ou 8 caractérisé en ce que les moyens d'obtention sont aptes à obtenir des données représentatives d'une vitesse de rotation terrestre et en ce que les moyens d'évaluation sont aptes à évaluer un biais angulaire en cap à
15 partir de ces données.

 10. Système d'harmonisation selon la revendication 7 caractérisé en ce que ledit positionneur angulaire est un simulateur de mouvements ou un banc de contrôle ou une table micrométrique.

20 11. Système d'harmonisation selon la revendication 7 caractérisé en ce que les informations inertielles sont mesurées à l'aide d'au moins un accéléromètre et/ou d'au moins un gyromètre équipant le dispositif de mesure.

25 12. Programme d'ordinateur comportant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé d'harmonisation selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

30 13. Support d'enregistrement lisible par un ordinateur sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur comprenant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé d'harmonisation selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

35

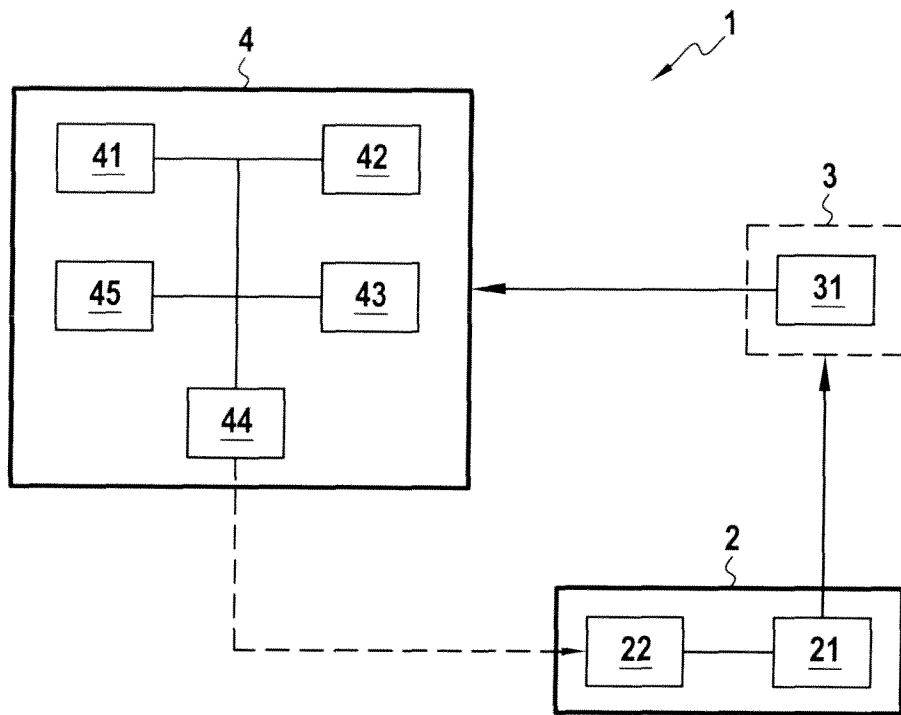


FIG.1

2/6

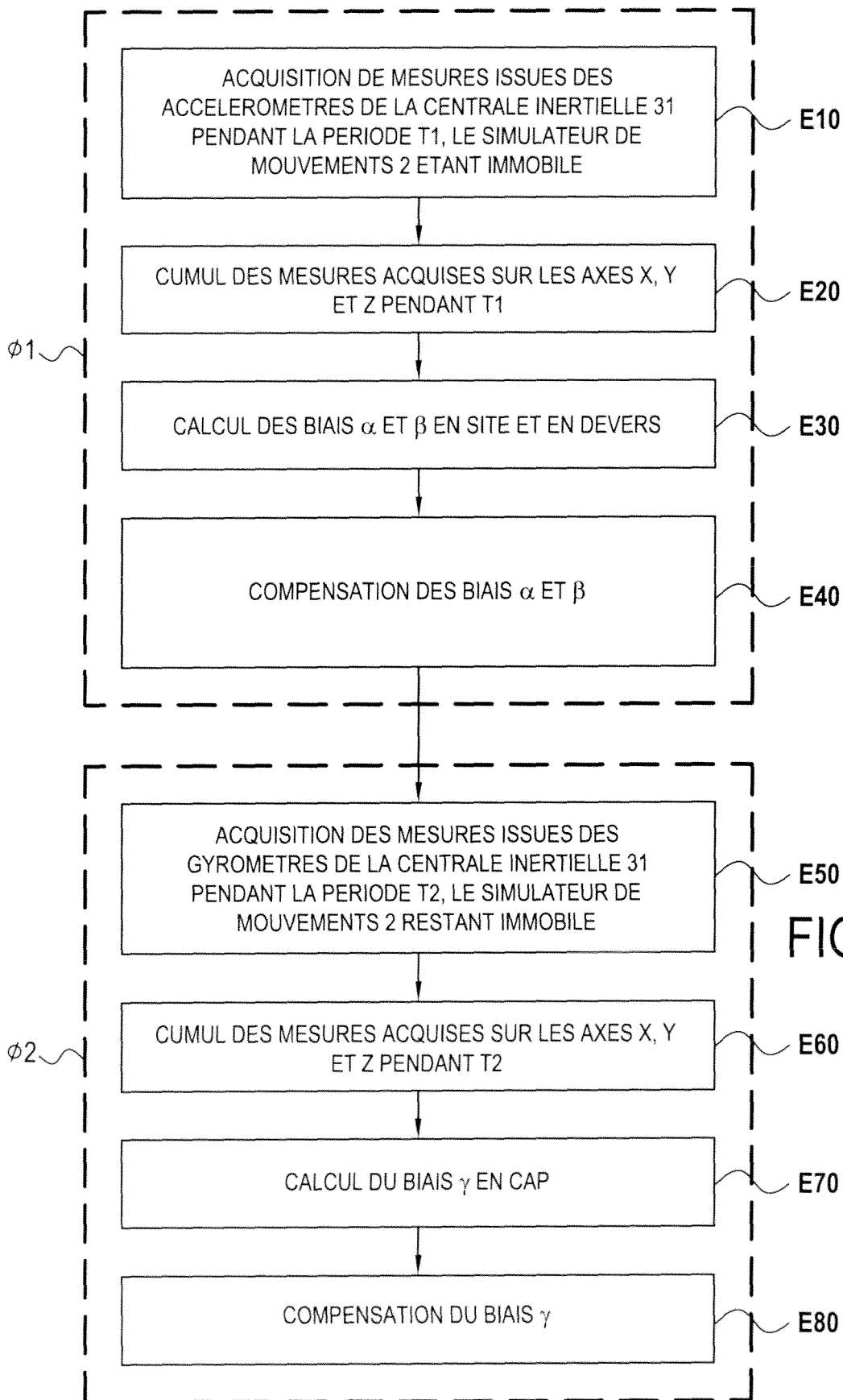


FIG.2

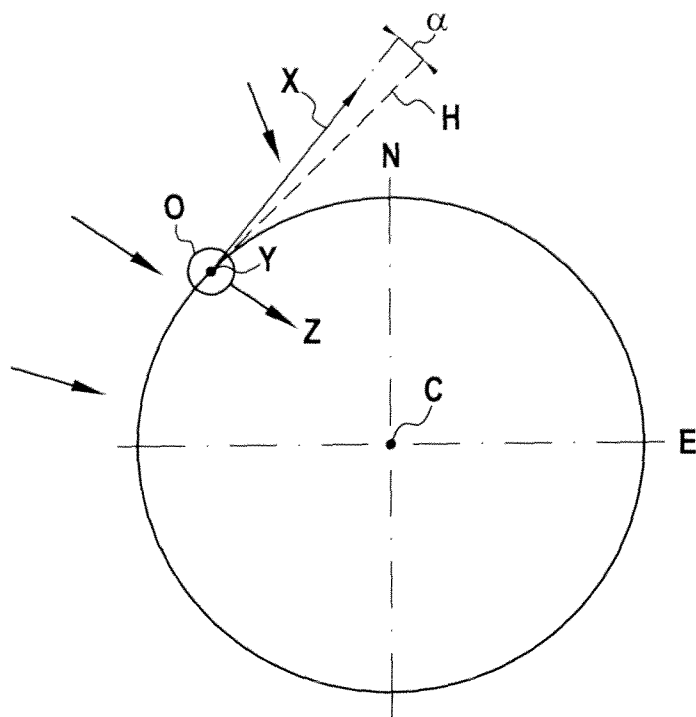


FIG. 3A

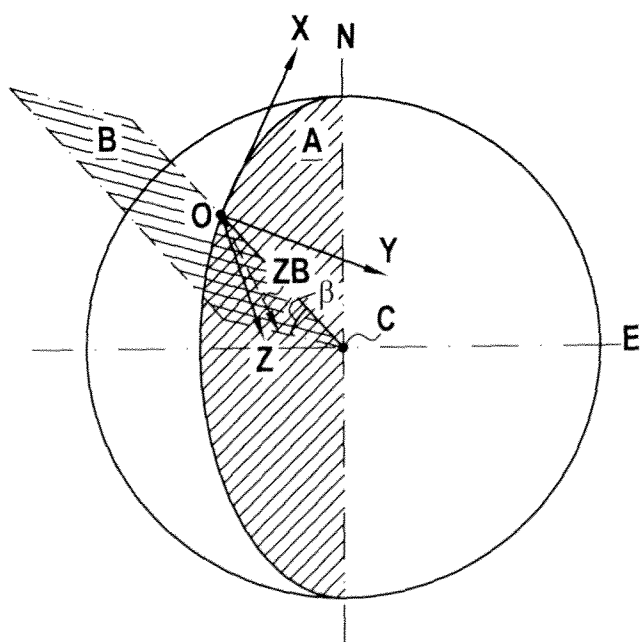


FIG. 3B

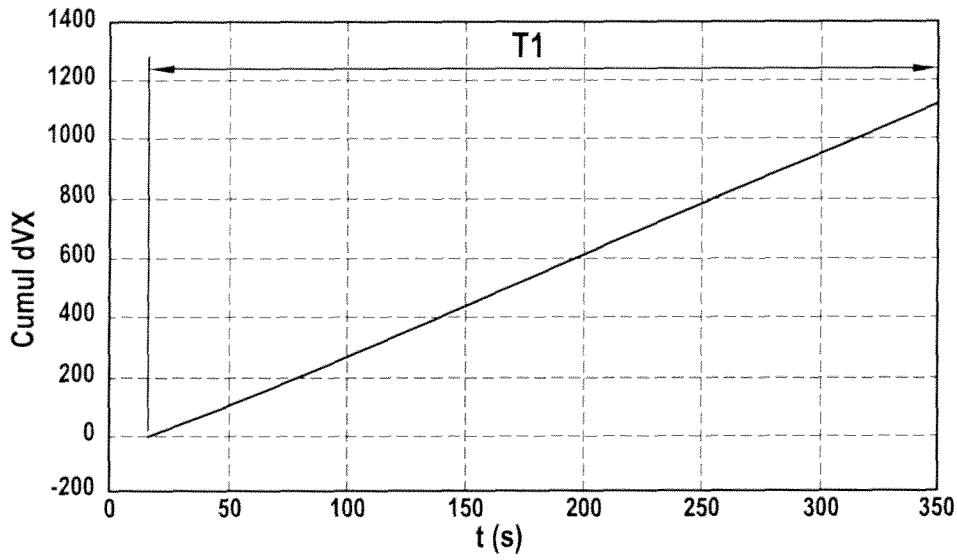


FIG.4A

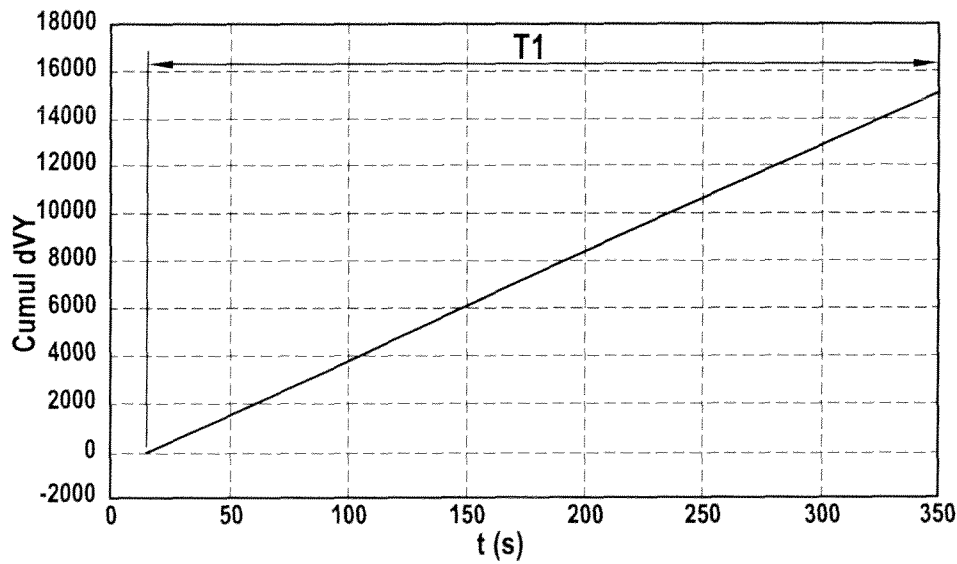


FIG.4B

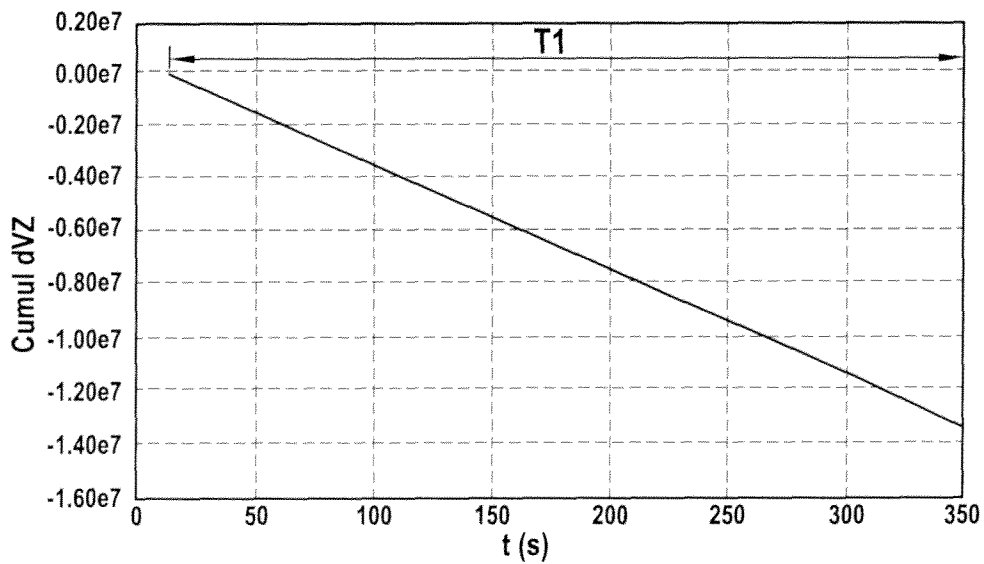


FIG.4C

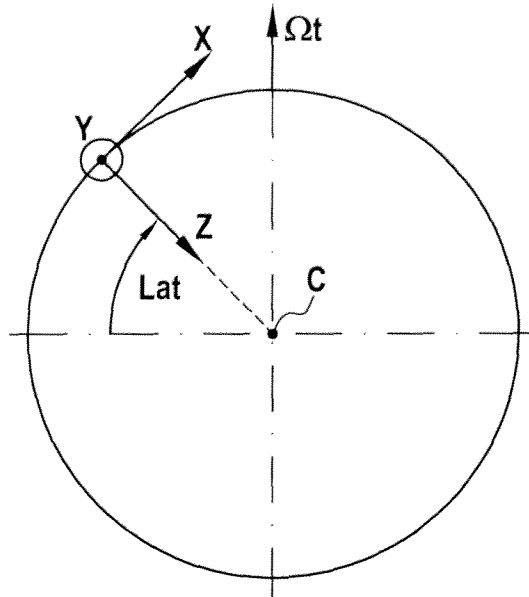


FIG.5A

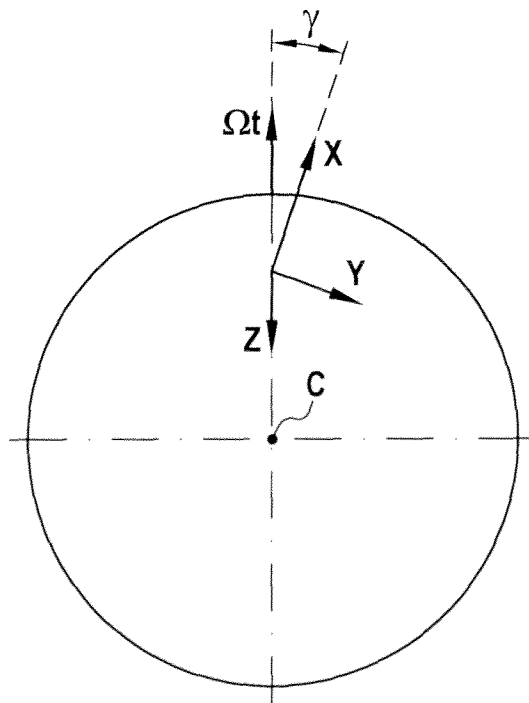


FIG.5B

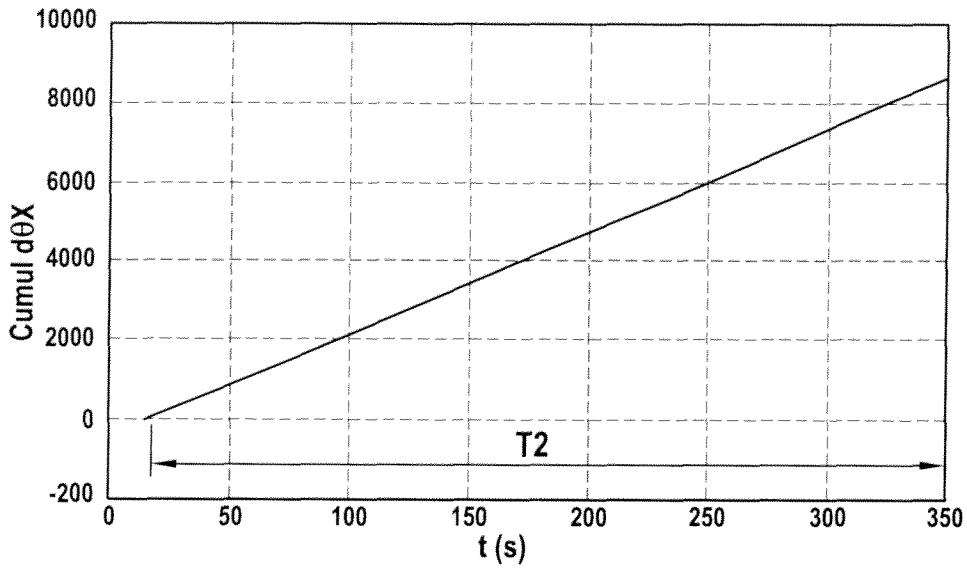


FIG.6A

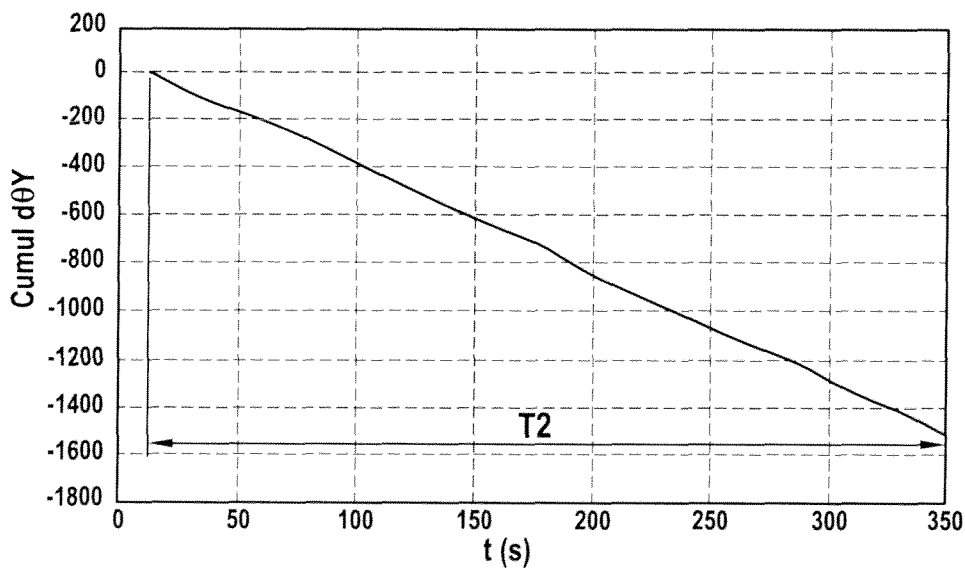


FIG.6B

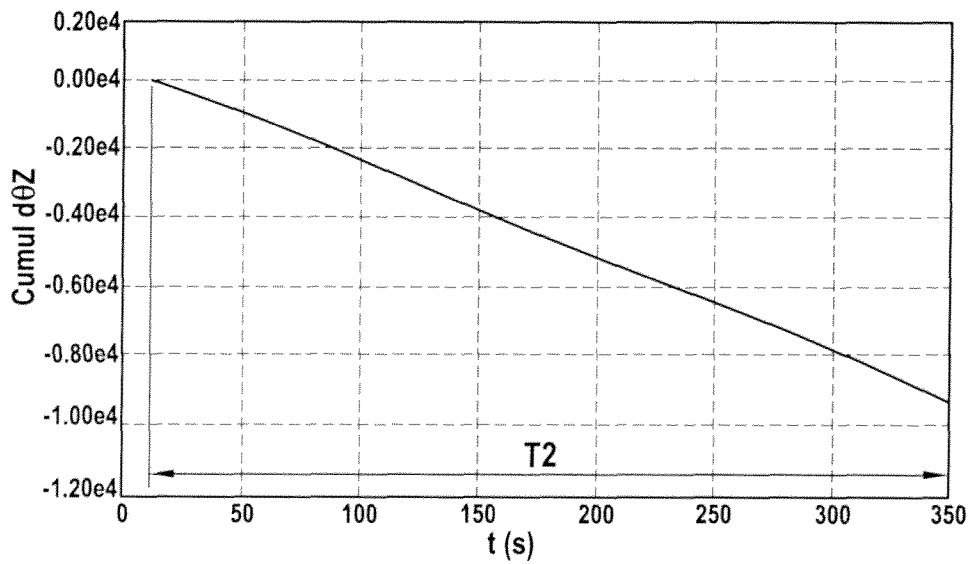


FIG.6C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2011/051770

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. G01C21/16 G01C25/00 G01P21/00 G12B5/00
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 G01C G01P G12B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002/178815 A1 (CHALLONER A DORIAN [US]) 5 December 2002 (2002-12-05) paragraphs [0024], [0025] paragraph [0047] - paragraph [0052] figures 1,6-8	1-13
X	US 3 597 598 A (MCALLISTER DONALD F ET AL) 3 August 1971 (1971-08-03) column 6, line 18 - line 70 column 8, line 53 - column 13, line 19 figures 1-6,8,9	1-13
A	US 2008/202199 A1 (FINLEY TOM D [US] ET AL) 28 August 2008 (2008-08-28) paragraph [0027] - paragraph [0033] figures 1-6	1-13

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 18 November 2011	Date of mailing of the international search report 30/11/2011
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Yosri, Samir
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2011/051770

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2002178815 A1	05-12-2002	US 2002178815 A1	05-12-2002
		US 2003206139 A1	06-11-2003

US 3597598 A	03-08-1971	NONE	

US 2008202199 A1	28-08-2008	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2011/051770

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01C21/16 G01C25/00 G01P21/00 G12B5/00 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01C G01P G12B		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2002/178815 A1 (CHALLONER A DORIAN [US]) 5 décembre 2002 (2002-12-05) alinéas [0024], [0025] alinéa [0047] - alinéa [0052] figures 1,6-8 -----	1-13
X	US 3 597 598 A (MCALLISTER DONALD F ET AL) 3 août 1971 (1971-08-03) colonne 6, ligne 18 - ligne 70 colonne 8, ligne 53 - colonne 13, ligne 19 figures 1-6,8,9 -----	1-13
A	US 2008/202199 A1 (FINLEY TOM D [US] ET AL) 28 août 2008 (2008-08-28) alinéa [0027] - alinéa [0033] figures 1-6 -----	1-13
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 18 novembre 2011		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 30/11/2011
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Yosri, Samir

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2011/051770

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2002178815 A1	05-12-2002	US 2002178815 A1 US 2003206139 A1	05-12-2002 06-11-2003
US 3597598 A	03-08-1971	AUCUN	
US 2008202199 A1	28-08-2008	AUCUN	