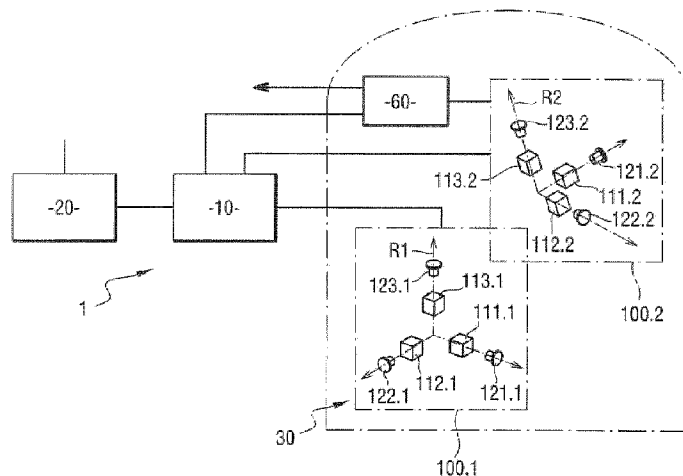




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2019/05/13  
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2019/11/21  
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2022/06/21  
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2020/11/12  
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: EP 2019/062241  
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2019/219626  
(30) Priorité/Priority: 2018/05/16 (FR1854076)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01C 25/00* (2006.01),  
*G01C 21/16* (2006.01)  
(72) Inventeurs/Inventors:  
ROBERT, EMMANUEL, FR;  
ELIE, PHILIPPE, FR;  
AGOSTINI, PASCAL, FR  
(73) Propriétaire/Owner:  
SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE, FR  
(74) Agent: LAVERY, DE BILLY, LLP

(54) Titre : PROCEDE D'HARMONISATION DE DEUX UNITES DE MESURE INERTIELLE L'UNE AVEC L'AUTRE ET  
SYSTEME DE NAVIGATION METTANT EN OEUVRE CE PROCEDE  
(54) Title: METHOD FOR HARMONISING TWO INERTIAL MEASUREMENT UNITS WITH ONE ANOTHER AND  
NAVIGATION SYSTEM IMPLEMENTING THIS METHOD



(57) **Abrégé/Abstract:**

Procédé d'harmonisation d'une première unité de mesure inertielle et d'une deuxième unité de mesure inertielle l'une avec l'autre, comprenant les étapes de : - faire comparer par une unité de commande les vecteurs mesurés par les unités de mesure inertielle pour déterminer un écart de force spécifique et un écart de rotation en prenant en compte les bras de leviers entre ces deux unités de mesure; - faire déterminer par l'unité de commande une valeur d'harmonisation à partir de l'écart de force spécifique et de l'écart de rotation en prenant en compte les bras de leviers entre ces deux unités de mesure. Système de navigation pour la mise en œuvre de ce procédé.

## (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  
21 novembre 2019 (21.11.2019)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2019/219626 A1**

(51) Classification internationale des brevets :

G01C 25/00 (2006.01) G01C 21/16 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2019/062241

(22) Date de dépôt international :

13 mai 2019 (13.05.2019)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1854076 16 mai 2018 (16.05.2018) FR

(71) Déposant : SAFRAN ELECTRONICS &amp; DEFENSE

[FR/FR] ; 18-20 Quai du Point du Jour, 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT (FR).

(72) Inventeurs : **ROBERT, Emmanuel** ; c/o SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE, 18-20 Quai du Point du Jour, 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT (FR). **ELIE, Philippe** ; c/o SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE, 18-20 Quai du Point du Jour, 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT (FR). **AGOSTINI, Pascal** ; c/o SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE, 18-20 Quai du Point du Jour, 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT (FR).(74) Mandataire : **LAVIALLE, Bruno** et al. ; CABINET BOETTCHER, 16 rue Médéric, 75017 PARIS (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, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,

(54) Title: METHOD FOR HARMONISING TWO INERTIAL MEASUREMENT UNITS WITH ONE ANOTHER AND NAVIGATION SYSTEM IMPLEMENTING THIS METHOD

(54) Titre : PROCÉDE D'HARMONISATION DE DEUX UNITES DE MESURE INERTIELLE L'UNE AVEC L'AUTRE ET SYSTEME DE NAVIGATION METTANT EN ŒUVRE CE PROCÉDE

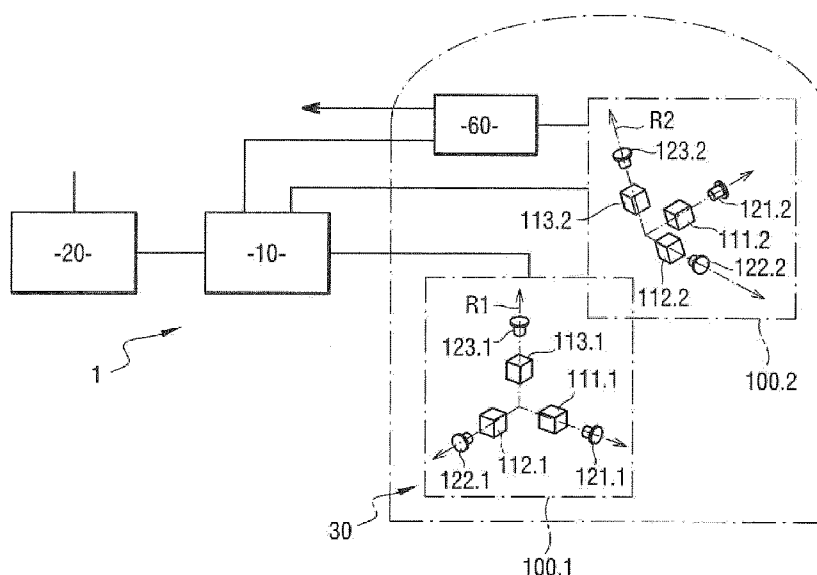


Fig. 1

(57) Abstract: Method for harmonising a first inertial measurement unit and a second inertial measurement unit with one another, comprising the steps of: – having a control unit compare the vectors measured by the inertial measurement units in order to determine a specific force discrepancy and a rotation discrepancy by taking into account the lever arms between these two measurement units; – having the control unit determine a harmonisation value on the basis of the specific force discrepancy and of the rotation discrepancy by taking into account the lever arms between these two measurement units. Navigation system for implementing this method.

(57) Abrégé : Procédé d'harmonisation d'une première unité de mesure inertielle et d'une deuxième unité de mesure inertielle l'une



WO 2019/219626 A1

**WO 2019/219626 A1** 

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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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), eurasién (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).

**Publiée:**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

avec l'autre, comprenant les étapes de : - faire comparer par une unité de commande les vecteurs mesurés par les unités de mesure inertielle pour déterminer un écart de force spécifique et un écart de rotation en prenant en compte les bras de leviers entre ces deux unités de mesure; - faire déterminer par l'unité de commande une valeur d'harmonisation à partir de l'écart de force spécifique et de l'écart de rotation en prenant en compte les bras de leviers entre ces deux unités de mesure. Système de navigation pour la mise en œuvre de ce procédé.

**PROCEDE D'HARMONISATION DE DEUX UNITES DE MESURE INERTIELLE  
L'UNE AVEC L'AUTRE ET SYSTEME DE NAVIGATION METTANT EN ŒUVRE  
CE PROCEDE**

La présente invention concerne le domaine de la mesure inertielle de position et/ou d'attitude.

**ETAT DE LA TECHNIQUE**

Une centrale inertielle (ou INS de l'anglais « inertial navigation system ») incorpore habituellement une unité de mesure inertielle (UMI ou IMU de l'anglais « inertial measurement unit ») qui comprend trois capteurs accélérométriques disposés selon les axes d'un repère de mesure accélérométrique et trois capteurs angulaires, gyroscopes ou gyromètres, pour mesurer des mouvements angulaires du repère de mesure accélérométrique par rapport à une orientation de référence du repère de mesure. Chaque capteur accélérométrique comprend une masse d'épreuve (ou « proof mass ») soumise à la gravité et aux accélérations de l'objet dont est solidaire la centrale inertielle (par exemple un véhicule). Dans le repère de mesure accélérométrique, les accéléromètres mesurent une grandeur nommée force spécifique (« specific force » ou « g-force » en anglais) et déterminent les trois composantes d'un vecteur de force spécifique. La force spécifique est égale à la somme des forces non-inertielles auxquelles le corps inertiel est soumis, divisée par la masse du corps inertiel. La force spécifique a donc la dimension d'une accélération et est d'ailleurs également nommée « proper acceleration » dans la littérature anglo-saxonne.

L'harmonisation entre une première centrale inertielle et une seconde centrale inertielle qui sont portées par un même véhicule est réalisée en calculant une matrice de rotation pour projeter les vecteurs de force spécifique des deux centrales inertielles dans un même repère. Cette opération d'harmonisation ne peut être réalisée qu'en utilisant un programme de navigation inertielle dont l'exécution nécessite des ressources informatiques relativement importantes. En outre, il est nécessaire que les deux centrales inertielles aient une précision suffisante pour permettre la réalisation de la navigation.

## OBJET DE L'INVENTION

Un but de l'invention est de fournir un moyen d'harmonisation qui soit fiable tout en étant simple.

## BREF EXPOSE DE L'INVENTION

A cet effet, on prévoit, selon l'invention, un procédé d'harmonisation d'une première unité de mesure inertielle et d'une deuxième unité de mesure inertielle l'une avec l'autre, la première unité de mesure inertielle et la deuxième unité de mesure inertielle étant reliées à un même circuit de commande et étant agencées pour déterminer un vecteur de force spécifique et un vecteur instantané de rotation ; caractérisé en ce que le procédé comprend les étapes de :

- faire comparer l'un à l'autre, par l'unité de commande, au moins un des deux vecteurs déterminés par chaque unité de mesure inertielle pour déterminer un écart en prenant en compte un bras de levier entre les deux unités de mesure inertielle ;

- faire déterminer par l'unité de commande une valeur d'harmonisation à partir dudit écart en prenant en compte le bras de levier entre ces deux unités de mesure.

Dans le procédé de l'invention, on compare directement l'un à l'autre les deux vecteurs de force spécifique et/ou les deux vecteurs de rotation respectivement, sans passer par un repère inertiel. Il n'est donc pas nécessaire dans l'invention d'effectuer une navigation ou de calculer un repère inertiel pour effectuer la comparaison. Il n'est donc pas nécessaire non plus de disposer de ressources informatiques importantes ni de deux unités de mesure inertielles de précisions équivalentes.

Selon un mode de mise en œuvre particulier, l'unité de commande compare les deux vecteurs de force spécifique pour déterminer un écart de force spécifique et les deux vecteurs instantanés de rotation pour déterminer un écart de rotation et détermine la valeur d'harmonisation à partir de l'écart de force spécifique et de l'écart de rotation.

L'harmonisation est alors particulièrement performante.

L'invention a également pour objet un système de

navigation pour véhicule, comprenant une première unité de mesure inertielle et une deuxième unité de mesure inertielle reliées à une unité électronique de commande agencée pour mettre en œuvre le procédé de l'invention.

Selon un mode de réalisation particulier, le système comprend un appareil optronique comportant une base et une tourelle pourvue d'un dispositif de visée et montée sur la base pour pivoter autour d'un premier axe, la deuxième unité de mesure inertielle étant solidaire de la tourelle et, de préférence, l'unité de commande est agencée pour déterminer une ligne de visée du dispositif de visée à partir de mesures de la deuxième unité de mesure inertielle et pour la projeter dans un repère de la première unité de mesure inertielle.

Ainsi, il est possible d'utiliser l'appareil optronique pour la navigation en visant des éléments du paysage dont la position est connue, comme des amers ou des objets célestes.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation particuliers non limitatifs de l'invention.

#### BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

Il sera fait référence aux dessins annexés, parmi lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique en plan d'un système de navigation mettant en œuvre le procédé de l'invention ;
- la figure 2 est une vue schématique d'une centrale inertielle de ce système ;
- la figure 3 est une vue géométrique montrant le positionnement du vecteur force spécifique dans les repères des deux centrales inertielles ;
- la figure 4 est une vue schématique en coupe d'un système inertiel selon l'invention.

#### DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

En référence aux figures, l'invention concerne un système de navigation 1 pour véhicule. Le véhicule est ici un navire mais l'invention s'applique de la même manière à tout autre type de véhicule, aérien ou terrestre.

Le système de navigation 1 comprend ici une unité électronique de commande 10 reliée à une unité électronique de géolocalisation satellitaire 20 et à un appareil optronique 30.

L'unité de géolocalisation satellitaire 20 est agencée de manière connue en elle-même pour fonctionner avec l'une au moins des constellations de satellites GPS, GALILEO, GLONASS, BAIDU...

L'appareil optronique 30 comprend, de façon connue en elle-même, une base 40 et une tourelle 50 pourvue d'un dispositif de visée 60 et montée sur la base 40 pour pivoter autour d'un premier axe A1 ou axe de gisement. Le dispositif de visée 60 est monté dans la tourelle 50 pour pivoter autour d'un axe A2, ou axe de site, perpendiculaire à l'axe A1.

La base 40 comprend un moteur pour régler la position angulaire de la tourelle 50, et donc du dispositif de visée 60, autour de l'axe A1, par rapport à la base 40. La base 40 comprend également une première centrale inertielle.

La tourelle 50 comprend un moteur pour régler la position angulaire du dispositif de visée 60, autour de l'axe A2, par rapport à la tourelle 50.

Le dispositif de visée 60, connu en lui-même, comprend un châssis support 61 portant un ensemble optique 62 derrière lequel est monté au moins un capteur électronique d'image 63. Le dispositif de visée 60 comprend ici en outre un dispositif de stabilisation 64 reliant le capteur électronique d'image 63 au châssis support 61. Le dispositif de stabilisation comprend des actionneurs, par exemple piezoélectriques, reliés à un circuit de commande agencé pour déplacer le capteur électronique d'image 63 en réponse à des signaux provenant d'une unité de mesure inertielle 100.2 reliée au circuit de commande du dispositif de stabilisation.

La centrale inertielle comprend une unité de mesure inertielle 100.1 incorporant trois accéléromètres 111.1, 112.1, 113.1 disposés selon les axes X1, Y1, Z1 d'un repère R1 d'origine O1. L'unité de mesure inertielle 100.1 comprend trois capteurs angulaires 121.1, 122.1, 123.1 qui sont montés selon les axes X1, Y1, Z1. Les capteurs angulaires

121.1, 122.1, 123.1 sont ici des gyroscopes à résonateur axisymétrique vibrant.

L'unité de mesure inertielle 100.2 comprend trois accéléromètres 111.2, 112.2, 113.2 disposés selon les axes X2, Y2, Z2 d'un repère R2 d'origine O2. Trois capteurs angulaires 121.2, 122.2, 123.2 sont montés selon les axes X2, Y2, Z2. Les accéléromètres 111.2, 112.2, 113.2 et capteurs angulaires 121.2, 122.2, 123.2 sont ici des microsystèmes électromécaniques (ou MEMS de l'anglais « Microelectromechanical Systems »).

Les unités de mesure inertielle 100.1, 100.2 sont positionnées de telle manière que les repères R1 et R2 soient sensiblement alignés l'un sur l'autre. Une précision de quelques degrés est suffisante du fait de la mise en œuvre ultérieure du procédé d'harmonisation de l'invention qui permettra de compenser ces quelques degrés d'écart.

Les unités de mesure inertielle 100.1, 100.2 sont agencées pour mesurer la même force spécifique sous la forme d'un vecteur de force spécifique représenté en F sur la figure 3. Les unités de mesure inertielle 100.1, 100.2 sont également agencées pour permettre de déterminer un vecteur rotation instantanée. On notera que, dans le présent mode de réalisation, les deux unités de mesure inertielle 100.1, 100.2 sont positionnées au voisinage l'une de l'autre, c'est-à-dire suffisamment proches l'une de l'autre, de manière à avoir entre elles un bras de levier négligeable.

L'unité électronique de commande 10 est agencée pour mettre en œuvre un procédé de navigation mêlant par un algorithme d'hybridation les signaux provenant de :

- l'unité électronique de géolocalisation satellitaire 20 ;
- des moyens de navigation à l'estime tels que le loch, le chronomètre et le compas de bord ;
- la centrale inertielle incorporant l'unité de mesure inertielle 100.1 ;
- l'appareil optronique 30.

L'hybridation des signaux de l'unité de géolocalisation satellitaire 20 et de la centrale inertielle 100.1 est réalisée de telle manière que la centrale

inertielle incorporant l'unité de mesure inertielle 100.1 assure la continuité de la navigation en l'absence de réception des signaux de l'unité électronique de géolocalisation satellitaire 20. Ceci est connu en soi.

L'unité de commande 10 est également agencée pour réaliser une hybridation des signaux de l'unité de géolocalisation satellitaire 20 et des moyens de navigation à l'estime de telle manière que les moyens de navigation à l'estime assurent la continuité de la navigation en l'absence de réception des signaux de l'unité électronique de géolocalisation satellitaire 20. Ceci est également connu en soi.

L'unité de commande 10 est en plus agencée pour déterminer une ligne de visée du dispositif de visée 60 à partir de mesures de la deuxième unité de mesure inertielle 100.2 et pour la projeter dans un repère de la première unité de mesure inertielle 100.1. Pour ce faire, le dispositif de visée 60 est pointé vers des repères géographiques dont la position est connue, par exemple des objets célestes et/ou des amers.

Pour que cette navigation soit exacte, il est nécessaire de procéder à l'harmonisation de la première unité de mesure inertielle 100.1 et de la deuxième unité de mesure inertielle 100.2 l'une avec l'autre. Le procédé d'harmonisation est mis en œuvre par l'unité de commande 10 et comprend les étapes de :

- comparer les signaux émis par les unités de mesure inertielle 100.1, 100.2 et représentatifs du vecteur de force spécifique et du vecteur instantané de rotation pour déterminer un écart de force spécifique et un écart de rotation entre les repères R1 et R2 (le bras de levier entre les deux unités de mesure inertielle est ici négligé) ;

- faire déterminer par l'unité de commande une valeur d'harmonisation à partir de l'écart de force spécifique et de l'écart de rotation (le bras de levier entre les deux unités de mesure inertielle est ici négligé).

La comparaison des vecteurs de force spécifique est réalisée en comparant les sorties des accéléromètres 111.1, 112.1, 113.1 aux sorties des accéléromètres 111.2, 112.2,

113.2 respectivement. Les sorties des accéléromètres sont comparées deux à deux ici après une correction de la normalisation des vecteurs force spécifique. La comparaison des vecteurs instantanés de rotation est réalisée en comparant les sorties des capteurs angulaires 121.1, 122.1, 123.1 aux sorties des capteurs angulaires 121.2, 122.2, 123.2 respectivement. Les sorties des capteurs angulaires sont comparées deux à deux ici après une correction de la normalisation des vecteurs instantanés de rotation. Les sorties des accéléromètres et des capteurs angulaires sont ici des incréments de vitesse, c'est-à-dire une vitesse moyenne pendant un temps donné.

La valeur d'harmonisation est prise en compte pour projeter, dans le repère R1, les informations du repère lié à la direction de visée afin de pouvoir exploiter ces informations lors de l'hybridation.

Le procédé d'harmonisation est réalisé périodiquement pour garantir que les deux centrales sont toujours harmonisées l'une avec l'autre. L'harmonisation est ici réalisée en temps réel.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits mais englobe toute variante entrant dans le champ de l'invention telle que définie par les revendications.

En particulier, les deux unités de mesure inertielle peuvent être montées dans un même appareil, comme dans le mode de réalisation décrit, ou dans des appareils distincts.

L'unité de commande peut être intégrée à l'appareil optronique ou être séparée de celui-ci.

La deuxième unité de mesure inertielle 100.2 peut être distincte de l'appareil optronique 30.

La première centrale inertielle incorporant l'unité de mesure inertielle 100.1 peut être distincte de l'appareil optronique 30.

Si les unités de mesure inertielle sont éloignées l'une de l'autre, on tiendra compte du bras de levier existant entre les unités de mesure inertielle, lors de la comparaison des vecteurs entre eux et lors de la détermination de la valeur d'harmonisation.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé d'harmonisation d'une première unité de mesure inertielle et d'une deuxième unité de mesure inertielle l'une avec l'autre, la première unité de mesure inertielle et la deuxième unité de mesure inertielle étant agencées chacune pour déterminer un vecteur de force spécifique et un vecteur instantané de rotation ; caractérisé en ce que la première unité de mesure inertielle et la deuxième unité de mesure inertielle sont reliées à un même circuit de commande et le procédé comprend les étapes de :

faire comparer, par l'unité de commande, les vecteurs de force spécifiques directement entre eux et les vecteurs instantanés de rotation directement entre eux pour déterminer un écart de force spécifique et un écart de rotation en prenant en compte un bras de levier entre les deux unités de mesure inertielle mais sans effectuer une navigation ni calculer un repère inertiel pour faire la comparaison ; et

faire déterminer par l'unité de commande une valeur d'harmonisation à partir desdits écarts en prenant en compte le bras de levier entre ces deux unités de mesure.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la première unité de mesure inertielle et la deuxième unité de mesure inertielle comprennent chacune trois accéléromètres disposés chacun selon un axe du repère, et la comparaison des vecteurs force spécifique est réalisée en comparant deux à deux les sorties des accéléromètres des deux unités de mesure inertielle.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la première unité de mesure inertielle et la deuxième unité de mesure inertielle comprennent chacune trois capteurs angulaire disposés chacun selon un axe du repère, la comparaison des vecteurs instantanés de rotation est réalisée en comparant deux à deux les sorties des capteurs angulaires des deux unités de mesure inertielle.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'harmonisation est réalisée périodiquement.

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel l'harmonisation est réalisée en temps réel.

6. Système de navigation pour véhicule, comprenant une première unité de mesure inertielle et une deuxième unité de mesure inertielle reliées à une unité électronique de commande agencée pour mettre en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5.

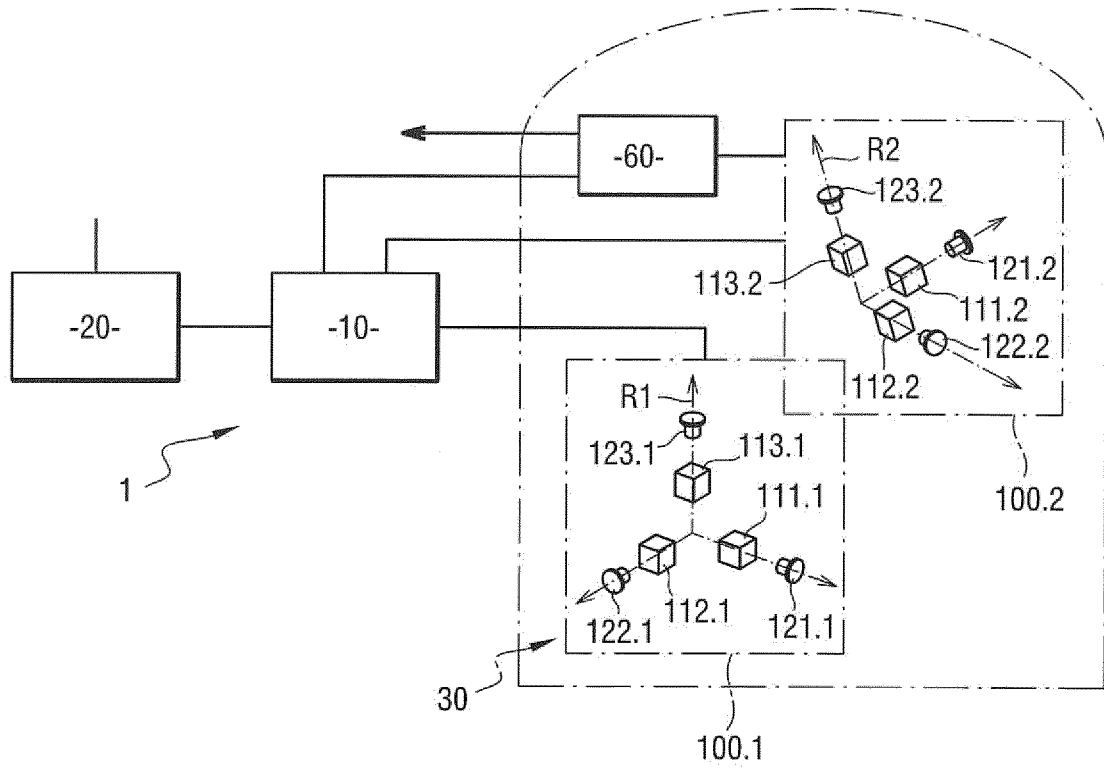
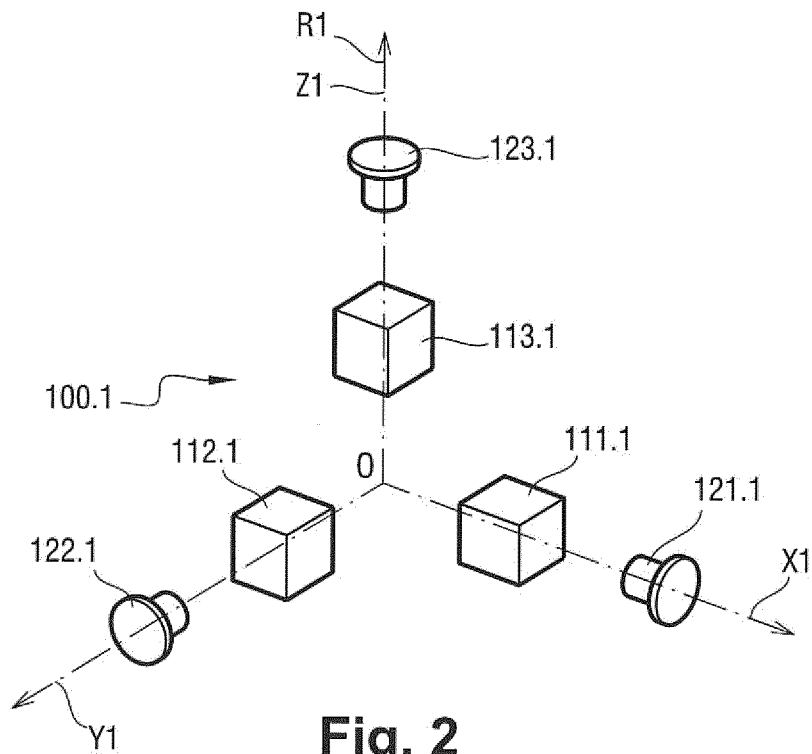
7. Système selon la revendication 6, comprenant un appareil optronique comportant une base et une tourelle pourvue d'un dispositif de visée et montée sur la base pour pivoter autour d'un premier axe, la deuxième unité de mesure inertielle étant solidaire de la tourelle.

8. Système selon la revendication 7, dans lequel la deuxième unité de mesure inertielle est agencée pour assurer une stabilisation du dispositif de visée porté par la tourelle.

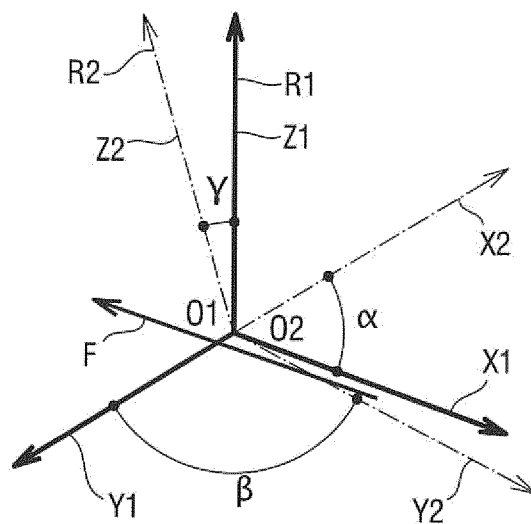
9. Système selon la revendication 7 ou la revendication 8, dans lequel la première unité de mesure inertielle est solidaire de la base de l'appareil optronique.

10. Système selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, dans lequel l'unité de commande est agencée pour déterminer une ligne de visée du dispositif de visée à partir de mesures de la deuxième unité de mesure inertielle et pour la projeter dans un repère de la première unité de mesure inertielle.

1/2

**Fig. 1****Fig. 2**

2/2

**Fig. 3****Fig. 4**