



(51) Classification internationale des brevets :
G01C 21/16 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2010/006360

(22) Date de dépôt international :
19 octobre 2010 (19.10.2010)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
09/05076 22 octobre 2009 (22.10.2009) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
SAGEM DEFENSE SECURITE [FR/FR]; Le Ponant de
Paris 27 rue Leblanc, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : LIGNON,
Christian [FR/FR]; Sagem Defense Securite, Le Ponant
de Paris, 27 rue Leblanc, F-75015 Paris (FR).

(74) Mandataire : LAVIALLE, Bruno; c/o Cabinet
Boettcher, 16, rue Médéric, F-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, 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.

(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).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— relative au droit du déposant de revendiquer la priorité
de la demande antérieure (règle 4.17.iii))

Publiée :

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

(54) Title : METHOD AND DEVICE FOR LONG-DURATION NAVIGATION

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF DE NAVIGATION LONGUE DUREE

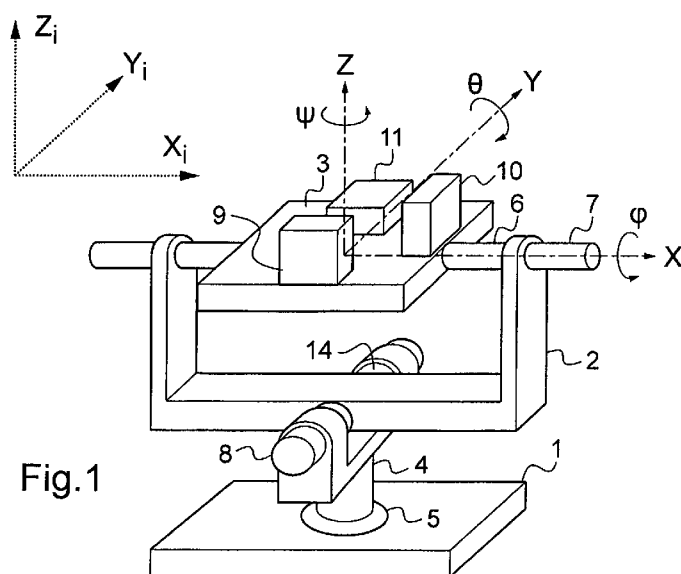


Fig.1

(57) Abstract : The invention relates to a method for long-duration navigation using an inertial core associated with a coordinate system having axes X, Y, and Z and mounted on a vehicle moving relative to the earth for measuring the movements thereof relative to an inertial reference system having axes Xi, Yi and Zi, wherein said method includes the steps of constantly measuring an orientation of the coordinate system having axes X, Y, Z in the inertial reference system, and applying a predetermined reversal sequence of the inertial core in the inertial reference system about a first axis and a second axis substantially perpendicular to each other such that, at the end of the sequence, the inertial core is in a final orientation identical to the initial orientation relative to the inertial reference system, wherein the reversals cancel each other during the sequence.

(57) Abrégé : Procédé de navigation longue durée au moyen d'un cœur inertiel, associé à un repère d'axes X, Y, Z et monté sur un véhicule en déplacement par rapport à la Terre pour en mesurer des mouvements par rapport à un

référentiel inertiel d'axes Xi, Yi, Zi, comprenant les étapes de mesurer de

[Suite sur la page suivante]



façon permanente une orientation du repère d'axes X, Y, Z dans le référentiel inertiel, et d'appliquer un enchaînement prédéterminé de retournements du cœur inertiel, dans le référentiel inertiel, autour d'un premier axe et d'un deuxième axe sensiblement perpendiculaires l'un à l'autre de telle manière que, à la fin de l'enchaînement, le cœur inertiel soit dans une orientation finale identique à l'orientation initiale par rapport au référentiel inertiel, et les retournements s'annulent au sein de l'enchaînement.

Procédé et dispositif de navigation longue durée

La présente invention concerne un procédé de navigation longue durée d'un véhicule au moyen d'une centrale de navigation inertielle liée au véhicule. Le véhicule peut être un véhicule terrestre, un aéronef, un navire, dont la navigation nécessite la connaissance de la position, de la vitesse et de l'attitude (cap, roulis et tangage). L'invention concerne également un dispositif de navigation pour la mise en œuvre de ce procédé.

Une centrale de navigation inertielle moderne comprend généralement des capteurs inertiels tels que des gyromètres et des accéléromètres disposés selon des axes d'un repère de mesure associé à une plateforme de support de la centrale inertielle. Les gyromètres mesurent des rotations angulaires du repère de mesure par rapport à un référentiel géographique et fournissent l'attitude du véhicule dans le référentiel géographique. Les accéléromètres mesurent des accélérations qui sont projetées dans le référentiel géographique puis intégrées une première fois pour fournir la vitesse, puis une seconde fois pour fournir la position. La précision d'une centrale de navigation inertielle dépend directement des erreurs des capteurs inertiels (gyromètres et accéléromètres), et plus précisément de la projection de ces erreurs dans le repère géographique local et, dans le cas d'une navigation inertielle de longue durée, les erreurs de position dépendent de manière prépondérante de la précision des gyromètres. La précision des gyromètres est affectées par les erreurs de dérive (décalage à l'origine de la mesure, une grandeur nulle n'est alors pas mesurée à zéro), de facteurs d'échelle (l'erreur de facteur d'échelle est l'erreur sur le coefficient multiplicateur de la mesure), et de calage d'axes (erreur d'orthogonalité entre les axes de mesure).

Il est connu du document FR-A-2 824 393 un procédé de navigation au moyen d'un cœur inertiel à composants liés monté sur un dispositif mécanique permettant de placer ce cœur dans différentes positions successives afin de moyenner les erreurs des gyromètres projetées dans le repère géographique local. Les informations d'attitude en sortie de la centrale inertielle à composants liés permettent de piloter directement le dispositif mécanique afin de placer successivement le cœur dans différentes positions sensiblement fixes par rapport au repère géographique local. Plus précisément, le procédé de navigation longue durée est mis en œuvre au moyen d'un cœur inertiel auquel est associé un repère lié d'axes X, Y, Z, monté sur un porteur pour en mesurer des mouvements par rapport à un repère géographique de directions fixes selon trois axes Xg, Yg, Zg et comprend:

- des actions de mesure consistant à mesurer en permanence au moyen du cœur inertiel, une orientation du repère lié dans le repère géographique;
- des actions de positionnement consistant à appliquer un enchaînement de cycles de huit retournements du cœur inertiel qui maintiennent chacun l'axe Y dans une direction parallèle à l'axe Yg, une succession de deux retournements autour de l'axe X étant précédée et suivie par un retournement autour de l'axe Z, une succession de deux retournements autour de l'axe Z étant précédée et suivie par un retournement autour de l'axe X.

Les actions de positionnement permettent de compenser les erreurs de mesure en inversant le signe selon l'axe Y à chaque retournement, en inversant le signe selon l'axe X à chaque retournement autour de l'axe Z et en inversant le signe selon l'axe Z à chaque retournement autour de l'axe X. Les actions de mesure effectuées en permanence permettent alors de compenser mutuellement les erreurs sur chacun des axes X, Y, Z du repère lié, de fa-

çon à réduire les projections d'erreurs sur les axes Xg, Yg, Zg par moyennage de leurs interventions sur un cycle.

Ce procédé permet des gains de précisions importants. En revanche, il est nécessaire de procéder à une
5 intégration de type STRAP-DOWN des mesures provenant des gyromètres. Or, ces mesures comprennent du bruit dont l'intégration entraîne des erreurs de navigation telles que des cheminements aléatoires. Ces erreurs ont une influence sur la dégradation de la performance de navigation.
10 tion. En outre, les mesures fournies par les gyromètres incorporent une composante liée à la rotation terrestre et donc affectée par les erreurs de facteur d'échelle propres à chaque gyromètre.

Par ailleurs, le procédé décrit dans ce document
15 n'est utilisable qu'avec des capteurs ayant une erreur de dérive constante sur toute la plage de mesure. Ce procédé ne peut donc être utilisé avec des gyroscopes vibrants qui sont classiquement utilisés dans des systèmes inertiels destinés à la navigation, comme cela est le cas par
20 exemple pour un compas gyroscopique adapté pour fournir une mesure d'angle par rapport à une direction de référence qui est celle du Nord géographique (Cap). Les gyroscopes vibrants sont axisymétriques à effet Coriolis (CVG pour « Coriolis Vibratory Gyroscopes »), par exemple
25 à résonateur hémisphérique (GRH ou HRG pour « Hemispherical Resonance Gyroscopes »), et sont plus généralement dits de type I comme dans le document « Type I and Type II micromachined vibratory gyroscopes » de Andrei M. Shkel, pages 586-593, IEEE/ION (pour « Institute of Electrical and Electronics Engineer/ Institute Of Navigation ») PLANS 2006, San Diego, CA, USA. Ces gyroscopes fonctionnent notamment en boucle ouverte et permettent de mesurer un angle de rotation absolu sur la base d'une mesure d'un angle représentant la position de vibration du
30 gyroscope par rapport à des électrodes de mesure. Les me-
35

sures fournies par ces gyroscopes vibrants peuvent être entachées d'erreurs qui sont essentiellement fonction de la position de la vibration par rapport aux électrodes de mesure. Ces erreurs sont donc variables en fonction de la position de vibration représentée par l'angle électrique.

Un but de l'invention est d'améliorer encore la précision d'une navigation longue durée au moyen d'une centrale inertielle.

A cet effet, on prévoit, selon l'invention, un procédé de navigation longue durée au moyen d'un cœur inertiel comportant au moins trois gyroscopes et au moins trois accéléromètres, associé à un repère d'axes X, Y, Z et monté sur un véhicule en déplacement par rapport à la Terre pour en mesurer des mouvements par rapport à un référentiel inertiel d'axes X_i , Y_i , Z_i , comprenant les étapes de :

- mesurer de façon permanente, au moyen des gyroscopes, une orientation du repère d'axes X, Y, Z dans le référentiel inertiel,

- appliquer, à partir d'une orientation initiale du cœur inertiel, un enchaînement prédéterminé de retournements du cœur inertiel, dans le référentiel inertiel, autour d'un premier axe et d'un deuxième axe sensiblement perpendiculaires l'un à l'autre de telle manière que :

- . à la fin de l'enchaînement, le cœur inertiel soit dans une orientation finale identique à l'orientation initiale par rapport au référentiel inertiel,

- . les retournements s'annulent au sein de l'enchaînement,

- . une succession de deux retournements autour du premier axe soit précédée et suivie par un retournement autour du deuxième axe et une succession de deux retournements autour du deuxième axe soit précédée et suivie par un retournement autour du premier axe.

L'enchaînement de retournements permet l'annulation des dérives des gyroscopes. Comme l'enchaînement de retournements est réalisé dans le repère inertiel et l'orientation finale est identique à l'orientation initiale dans ce repère inertiel, la rotation globale à l'issue du cycle de retournements est nulle et n'est pas affectée par la rotation terrestre, ce qui rend la performance de la navigation indépendante des erreurs de facteur d'échelle. La matrice de passage du repère de mesure accélérométrique au référentiel inertiel est cyclique et peut être modélisée, et il n'est pas nécessaire de faire une intégration des vitesses de rotation, de type STRAP-DOWN, pour connaître l'orientation du repère de mesure accélérométrique. Ceci permet d'éliminer l'influence du bruit des mesures de rotation.

Selon un mode de réalisation particulier :

- au moins un des gyroscopes est un gyroscope vibrant axisymétrique,
- au moins un des axes de retournement est choisi pour être perpendiculaire à un axe sensible du gyroscope vibrant axisymétrique.

L'invention permet une meilleure précision des mesures de rotation fournies par ce type de gyroscope. L'enchaînement de retournements entraîne un balayage, par l'angle électrique du gyroscope vibrant, d'une plage de valeurs correspondant à un seul retournement. Comme la dérive du gyroscope vibrant dépend de l'angle électrique, le maintien de l'angle électrique dans une plage restreinte permet une meilleure maîtrise de la dérive.

Avantageusement, les axes de retournement sont choisis pour être perpendiculaires à l'axe sensible du gyroscope.

La précision obtenue est encore meilleure, l'enchaînement de retournements maintenant fixe l'angle électrique du gyroscope.

De préférence, l'angle électrique est forcé préalablement à l'enchaînement de retournements.

5 Ceci permet de sélectionner un angle électrique pour lequel le gyroscope présente de meilleures performances par exemple en raison d'une dérive particulièrement stable et/ou faible à cet angle électrique.

De préférence, le premier axe est parallèle à un axe polaire terrestre et le deuxième axe est situé dans un plan équatorial terrestre.

10 Il est généralement plus difficile d'obtenir des mesures gyrométriques sur l'axe polaire. Le choix d'un axe de retournement confondu avec l'axe polaire permet de privilégier le gyromètre effectuant une mesure selon cet axe.

15 Avantageusement, l'enchaînement est réalisable selon deux configurations alternatives en fonction d'une latitude à laquelle se trouve le véhicule :

- pour une latitude de valeur absolue supérieure à un seuil prédéterminé, le deuxième axe est le même pour
20 tous les enchaînements,

- pour une latitude de valeur absolue inférieure au seuil prédéterminé, le deuxième axe s'étend à une intersection du plan équatorial et d'un plan méridien sur lequel se trouve le véhicule, et est déterminé au début
25 de chaque enchaînement.

Ceci permet de réaliser les rotations du cœur inertiel avec un dispositif mécanique de retournement comportant seulement trois axes motorisés sans risquer que deux des axes motorisés ne viennent à se confondre.
30 Un tel dispositif mécanique de retournement est moins onéreux et encombrant qu'un dispositif mécanique à quatre axes motorisés qui serait nécessaire en l'absence d'une double configuration.

Selon un mode de mise en œuvre préféré,
35 l'enchaînement de retournements comprend au moins une

première série de huit retournements, à savoir un retournement autour du premier axe selon un premier sens ($R1(+\pi)$), un retournement autour du deuxième axe selon un premier sens ($R2(+\pi)$), un retournement autour du premier axe selon un deuxième sens ($R1(-\pi)$), un retournement autour du premier axe selon un premier sens ($R1(+\pi)$), un retournement autour du deuxième axe selon un deuxième sens ($R2(-\pi)$), un retournement autour du premier axe selon un deuxième sens ($R1(-\pi)$), un retournement autour du deuxième axe selon un premier sens ($R2(+\pi)$), un retournement autour du deuxième axe selon un deuxième sens ($R2(-\pi)$) et, de préférence, l'enchaînement de retournements comprend une deuxième série de huit retournements, identique à la première série sauf en ce que les sens de retournement sont inversés.

Ce mode de mise en œuvre est celui qui procure les meilleures performances.

L'invention a également pour objet, un dispositif de navigation inertielle, comprenant une unité de commande, un cœur inertiel qui comporte des gyroscopes et des accéléromètres et qui est monté sur un dispositif de retournement comportant des axes sensiblement perpendiculaires les uns aux autres et associés à des moyens de motorisations reliés à l'unité de commande, l'unité de commande étant agencée pour mettre en œuvre le procédé.

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.

Il sera fait référence aux dessins annexés, parmi lesquels :

- la figure 1 est une vue en perspective d'un dispositif de mise en œuvre de l'invention,
- les figures 2 et 3 sont des vues schématiques du dispositif selon deux configurations de retournements,

- la figure 4, a et b, montre un enchaînement de retournements selon la première configuration de retournements,

5 - la figure 5, a et b, montre un enchaînement de retournements selon la deuxième configuration de retournements.

En référence à la figure 1, une plate-forme 1 est solidaire d'un véhicule tel que par exemple un navire. La plate-forme 1 supporte un joint cardan 2 pour orienter
10 trois axes X, Y, Z d'un repère lié à un cœur inertiel 3, par rapport à trois axes X_i , Y_i , Z_i d'un repère inertiel fixe dont l'origine est indifférente, par exemple ici le centre de la terre. Les axes X_i et Y_i sont orientés dans un plan équatorial, et l'axe Z_i est orienté selon la ver-
15 ticale vers le haut. Un premier degré de liberté en rotation est donné par un axe matériel 4, solidaire du véhicule. Un moteur 5 permet de faire tourner l'axe 4 de façon à annuler les effets des variations de cap du porteur. Un deuxième degré de liberté en rotation est donné
20 par un axe matériel 6, solidaire du cœur inertiel 3. Un moteur 7 permet de faire tourner l'axe 6 de façon à annuler les effets de rotation du porteur autour de l'axe 6. Un troisième degré de liberté en rotation est donné par un troisième axe matériel 14, perpendiculaire à l'axe ma-
25 tériel 4 et à l'axe matériel 6. Un moteur 8 permet de faire tourner le troisième axe 14 de façon à annuler les rotations du véhicule autour de l'axe 14. Les trois degrés de liberté ci-dessus permettent de contrer les mouvements de houle et de rotation terrestre tout en effec-
30 tuant les retournements prévus par le procédé de l'invention.

Le cœur inertiel 3 comprend trois gyroscopes 9, 10, 11 et trois accéléromètres 19, 20, 21. Les gyroscopes 9, 10, 11 sont des gyroscopes vibrants axisymétriques
35 comportant un résonateur maintenu en vibration et permet-

tant une mesure d'angle par détection d'une position de la vibration autour d'un axe du résonateur (angle électrique). L'accéléromètre 19 mesure les accélérations du cœur inertiel 3 dans la direction de l'axe Y et le gyroscope 9 les rotations du cœur inertiel 3 autour de l'axe Y. L'accéléromètre 20 mesure les accélérations du cœur inertiel 3 dans la direction de l'axe X et le gyroscope 10 les rotations du cœur inertiel 3 autour de l'axe X. L'accéléromètre 21 mesure les accélérations du cœur inertiel 3 dans la direction de l'axe Z et le gyroscope 11 les rotations du cœur inertiel 3 autour de l'axe Z. Les gyroscopes 9, 10, 11 permettent de mesurer des angles de rotation du cœur inertiel 3 par rapport à chacun des trois axes X_i , Y_i , Z_i . Il est alors possible d'effectuer des retournements prédéterminés en s'appuyant sur les angles de rotation mesurés par les gyroscopes. Les accéléromètres 19, 20, 21 permettent de mesurer l'accélération du cœur inertiel 3 dans chacune des directions selon les axes X, Y, Z. Il est alors possible de calculer des accélérations du véhicule selon les axes X_i , Y_i , Z_i du référentiel inertiel, par déduction des accélérations mesurées puis par intégration la vitesse et par double intégration la position du véhicule dans le référentiel inertiel X_i , Y_i , Z_i .

Le dispositif de navigation comprend une unité de commande, non représentée, programmée pour mettre en œuvre le procédé de l'invention.

Le procédé de navigation longue durée conforme à l'invention comprend les étapes de :

- mesurer de façon permanente une orientation du repère X, Y, Z dans le référentiel inertiel X_i , Y_i , Z_i ,
- appliquer, à partir d'une orientation initiale du cœur inertiel 3, un enchaînement de retournements du cœur inertiel, dans le référentiel inertiel X_i , Y_i , Z_i , autour d'un premier axe A1 et d'un deuxième axe A2 sensi-

blement perpendiculaires l'un à l'autre de telle manière que :

5 . à la fin de l'enchaînement, le cœur inertiel 3 soit dans une orientation finale identique à l'orientation initiale,

 . les retournements s'annulent au sein de l'enchaînement,

10 . une succession de deux retournements autour du premier axe A1 soit précédée et suivie par un retournement autour du deuxième axe A2 et une succession de deux retournements autour du deuxième axe A2 soit précédée et suivie par un retournement autour du premier axe A1.

15 Par « de façon permanente », on entend que des mesures sont réalisées tout au long du procédé de navigation et plus particulièrement pendant les retournements. Ces mesures peuvent être réalisées de façon continue ou de façon périodique, par exemple par échantillonnage ou à intervalles réguliers.

20 Le retournement du cœur inertiel 3, est effectué par rotation des axes matériels 4, 5 et 6 pour qu'une rotation autour d'un de ces axes et/ou une combinaison de rotations autour de plusieurs de ces axes permettent d'effectuer le retournement souhaité autour de l'axe de retournement défini. Les valeurs de rotation permettant
25 de moyenner les erreurs avec un minimum de positions élémentaires sont des rotations de $+\pi$ ou $-\pi$ autour des différents axes. Le pilotage du dispositif de retournement est décrit de manière plus détaillée dans le document FR-A-2 824 393.

30 Les axes A1 et A2 sont choisis dans le référentiel inertiel.

 On a représenté sur les figures 4 et 5 les retournements du repère de mesure X, Y, Z dans le référentiel inertiel autour des axes A1 et A2.

35 L'enchaînement de retournements (numérotés 1 à

16) comprend ici :

- une première série de huit retournements, à savoir un retournement autour du premier axe A1 selon un premier sens $R1(+\pi)$, un retournement autour du deuxième
5 axe A2 selon un premier sens $R2(+\pi)$, un retournement autour du premier axe A1 selon un deuxième sens $R1(-\pi)$, un retournement autour du premier axe A1 selon le premier sens $R1(+\pi)$, un retournement autour du deuxième axe A2 selon un deuxième sens $R2(-\pi)$, un retournement autour du
10 premier axe A1 selon le deuxième sens $R1(-\pi)$, un retournement autour du deuxième axe A2 selon le premier sens $R2(+\pi)$, un retournement autour du deuxième axe A2 selon le deuxième sens $R2(-\pi)$,

- une deuxième série de huit retournements, identique à la première série sauf en ce que les sens de retournement sont inversés.

Comme visible sur la figure 3, dans le cas où le véhicule se trouve à une latitude supérieure à 45° environ, l'axe A1 est confondu avec l'axe polaire et donc
20 avec l'axe Z du repère de mesure et l'axe A2 est dans un plan équatorial et est confondu avec l'axe X du repère de mesure.

Les gyroscopes ayant comme axe sensible les axes X et Z ont donc leur axe sensible perpendiculaire à l'un
25 des axes de retournement, à savoir A1 et A2 respectivement. Les retournements indiqués ci-dessus vont amener la vibration de ces gyroscopes sur trois angles électriques, à savoir les angles électriques α_0 , α_1 , α_2 (pour X) et γ_1 , γ_2 , γ_3 (pour Z), ces angles étant constants sur un en-
30 chaînement (voir la figure 4).

Le gyroscope ayant comme axe sensible l'axe Y a donc son axe sensible perpendiculaire aux deux axes de retournement A1 et A2 de sorte que les retournements vont maintenir la vibration sur le même angle électrique β .

35 Les angles électriques en question sont ici choi-

sis en fonction de la valeur de dérive des gyroscopes à ces angles, cette valeur devant être la plus stable possible. En variante, on pourrait choisir les angles électriques pour que le gyroscope présente la plus faible dérive à ces angles.

La réalisation de l'asservissement des gyroscopes nécessite de connaître les angles des axes 6 et 14. A cet effet, les axes matériels 6 et 14 sont équipés de roues codeuses (non représentées) qui fournissent la position angulaires desdits axes par rapport à leur support. En variante, cette connaissance peut résulter d'une comparaison des mesures fournies par le cœur inertiel 3 avec celles d'une deuxième centrale inertielle qui serait fixée rigidement sur le véhicule.

L'utilisation des mêmes angles électriques permet d'annuler l'effet des dérives des gyroscopes à ces angles en effectuant les retournements, ceux-ci permettant de sommer selon chaque axe considéré une projection de la dérive et l'opposé de cette projection.

En outre, comme les dérives sont intégrées également pendant chaque opération de retournement, chaque retournement dans un sens est également réalisé dans l'autre sens pour que les dérives prises en compte lors de ces deux retournements s'annulent mutuellement.

La matrice de passage T_{mi} , entre le repère de mesure et le référentiel inertiel, est cyclique (les rotations effectuées pour retourner le coeur inertiel étant toujours les mêmes) et peut être calculée une fois pour toute ou modélisée.

Lorsque la matrice de passage T_{mi} a été modélisée, les paramètres du modèle peuvent également être mis à jour périodiquement en temps réel à partir d'un filtre de Kalman s'appuyant sur des informations extérieures provenant par exemple d'une autre centrale inertielle ou d'un système de positionnement par satellite.

La matrice de passage T_{mi} peut être décomposée en un produit d'une matrice cyclique T_{m1} et d'une matrice T_{1i} représentant l'intégrale du résidu des dérives gyroscopiques apparaissant sur un enchaînement complet (malgré l'effet d'annulation des erreurs résultant de l'enchaînement de retournements). Ceci permet de tenir compte des dérives résiduelles après un enchaînement de retournements.

En référence à la figure 3, dans la configuration adaptée à un véhicule situé à une latitude inférieure à 45° environ, l'axe A1 est confondu avec l'axe polaire et donc avec l'axe X du repère de mesure et l'axe A2 est situé à l'intersection du plan équatorial et d'un plan contenant le méridien sur lequel se trouve le véhicule.

Le deuxième axe A2 est donc choisi à chaque enchaînement dans cette configuration alors que, dans la première configuration (figure 3), le deuxième axe A2 est identique pour tous les enchaînements.

Comme représenté sur la figure 5, les retournements indiqués ci-dessus vont amener la vibration des gyroscopes ayant comme axe sensible les axes X et Z sur trois angles électriques, à savoir les angles électriques α_0 , α_1 , α_2 (pour X) et γ_1 , γ_2 , γ_3 (pour Z), ces angles étant constants sur un enchaînement (voir la figure 4).

Le gyroscope ayant comme axe sensible l'axe Y a maintenant son axe sensible perpendiculaire à un seul axe de retournement A1 de sorte que les retournements vont maintenir la vibration sur deux angles électriques β_1 et β_2 .

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

En particulier, l'invention est utilisable avec d'autres types de gyroscopes que les gyroscopes vibrants

axisymétriques ou plus généralement avec les gyroscopes à effet Coriolis, mais également avec des gyroscopes à effet Sagnac comme les gyroscopes laser et les gyroscopes à fibre optique.

5 Le cœur inertiel peut comprendre zéro, un, deux ou plus de trois gyroscopes vibrants axisymétriques.

Le cœur inertiel peut en outre comprendre plus de trois gyroscopes et plus de trois accéléromètres.

10 Lorsque l'enchaînement ne présente que huit retournements, l'angle électrique des gyroscopes vibrants ne parcourt qu'une plage délimitée par deux valeurs.

Le premier axe de retournement peut se trouver dans les plans XY, YZ ou ZX.

15 Un enchaînement de retournements couvert par l'invention peut être élaboré par permutation circulaire des retournements de l'enchaînement décrit.

20 Bien que le seuil prédéterminé de latitude ait été fixé à 45° dans le mode de mise en œuvre décrit, le seuil prédéterminé peut être différent et par exemple égal à 30°.

Le référentiel inertiel peut être orienté différemment de celui décrit ci-dessus.

En variante, chaque retournement est séparé d'une durée prédéterminée du retournement précédent.

REVENDICATIONS

1. Procédé de navigation longue durée au moyen d'un cœur inertiel comportant au moins trois gyroscopes et au moins trois accéléromètres, associé à un repère
5 d'axes X, Y, Z et monté sur un véhicule en déplacement par rapport à la Terre pour en mesurer des mouvements par rapport à un référentiel inertiel d'axes X_i , Y_i , Z_i , comprenant les étapes de :

- mesurer de façon permanente, au moyen des gy-
10 roscopes, une orientation du repère d'axes X, Y, Z dans le référentiel inertiel,

- appliquer, à partir d'une orientation initiale du cœur inertiel, un enchaînement prédéterminé de retournements du cœur inertiel, dans le référentiel inertiel,
15 autour d'un premier axe et d'un deuxième axe sensiblement perpendiculaires l'un à l'autre de telle manière que :

. à la fin de l'enchaînement, le cœur inertiel soit dans une orientation finale identique à l'orientation initiale par rapport au référentiel iner-
20 tiel,

. les retournements s'annulent au sein de l'enchaînement,

. une succession de deux retournements autour du premier axe soit précédée et suivie par un retournement
25 autour du deuxième axe et une succession de deux retournements autour du deuxième axe soit précédée et suivie par un retournement autour du premier axe.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel :

30 - au moins un des gyroscopes est un gyroscope vibrant axisymétrique,

- au moins un des axes de retournement est choisi pour être perpendiculaire à un axe sensible du gyroscope vibrant axisymétrique.

35 3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel

les axes de retournement sont choisis pour être perpendiculaires à l'axe sensible du gyroscope.

4. Procédé selon la revendication 2, dans lequel l'angle électrique est forcé préalablement à l'enchaînement de retournements.

5. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le premier axe est parallèle à un axe polaire terrestre et le deuxième axe est situé dans un plan équatorial terrestre.

6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel l'enchaînement est réalisable selon deux configurations alternatives en fonction d'une latitude à laquelle se trouve le véhicule :

- pour une latitude de valeur absolue supérieure à un seuil prédéterminé, le deuxième axe est le même pour tous les enchaînements,

- pour une latitude de valeur absolue inférieure au seuil prédéterminé, le deuxième axe s'étend à une intersection du plan équatorial et d'un plan méridien sur lequel se trouve le véhicule, et est déterminé au début de chaque enchaînement.

7. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'enchaînement de retournements comprend au moins une première série de huit retournements, à savoir un retournement autour du premier axe selon un premier sens ($R1(+\pi)$), un retournement autour du deuxième axe selon un premier sens ($R2(+\pi)$), un retournement autour du premier axe selon un deuxième sens ($R1(-\pi)$), un retournement autour du premier axe selon un premier sens ($R1(+\pi)$), un retournement autour du deuxième axe selon un deuxième sens ($R2(-\pi)$), un retournement autour du premier axe selon un deuxième sens ($R1(-\pi)$), un retournement autour du deuxième axe selon un premier sens ($R2(+\pi)$), un retournement autour du deuxième axe selon un deuxième sens ($R2(-\pi)$).

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel l'enchaînement de retournements comprend une deuxième série de huit retournements, identique à la première série sauf en ce que les sens de retournement sont inversés.

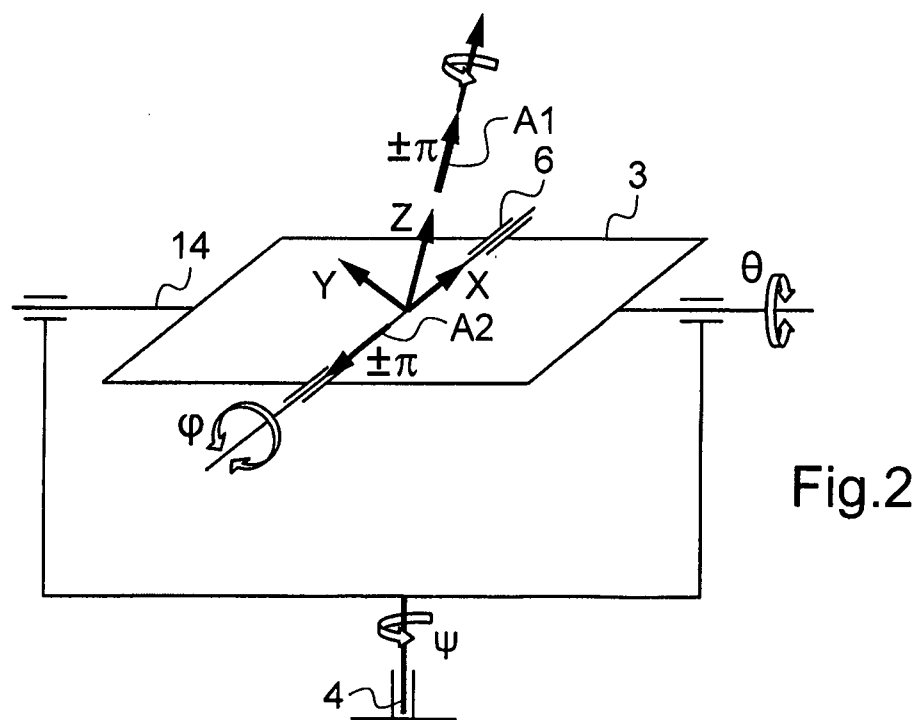
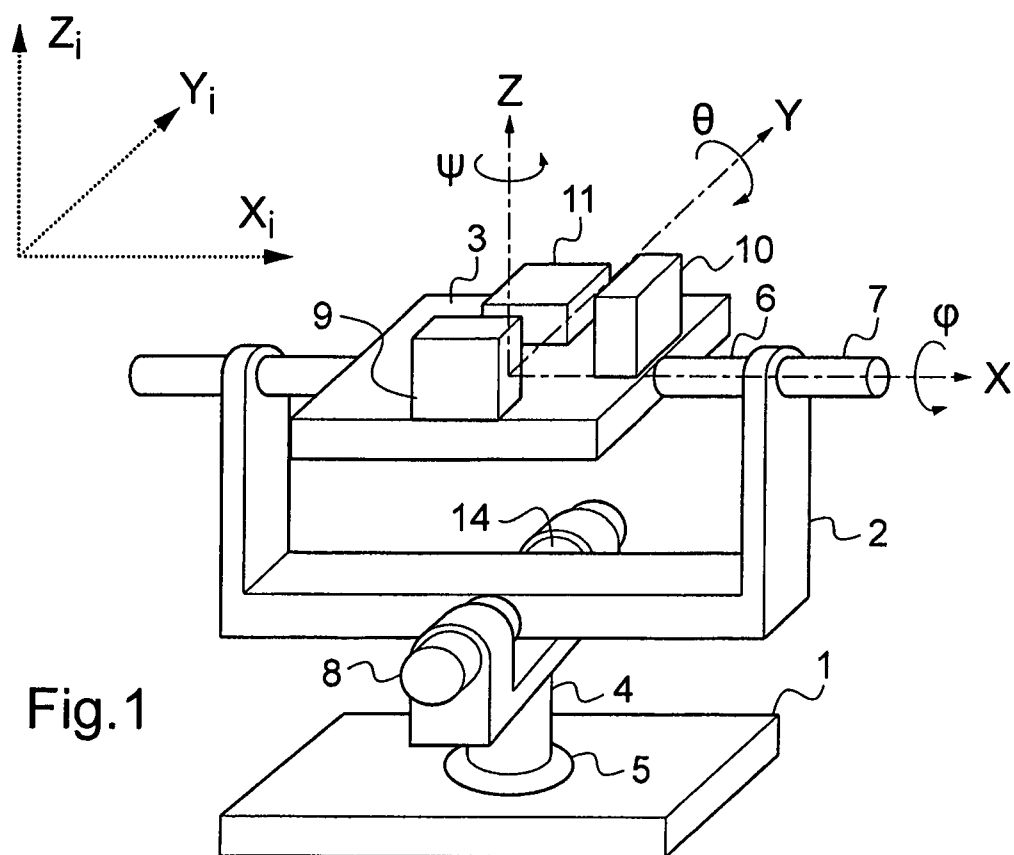
5 9. Procédé selon la revendication 1, dans lequel chaque retournement est séparé d'une durée prédéterminée du retournement précédent.

10 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant une étape d'intégration des accélérations dans le référentiel inertiel à partir d'une matrice de passage du repère de mesure au référentiel inertiel, la matrice de passage étant cyclique et représentant l'enchaînement de retournements.

15 11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel la matrice de passage est modélisée avec des paramètres mis à jour périodiquement à partir d'informations extérieures.

20 12. Dispositif de navigation inertielle, comprenant une unité de commande, un cœur inertiel qui comporte des gyroscopes et des accéléromètres et qui est monté sur un dispositif de retournement comportant des axes sensiblement perpendiculaires les uns aux autres et associés à des moyens de motorisations reliés à l'unité de commande, l'unité de commande étant agencée pour mettre en œuvre le
25 procédé conforme à l'une quelconque des revendications précédentes.

30 13. Dispositif selon la revendication 12, comportant trois axes motorisés et l'unité de commande étant agencée pour mettre en œuvre le procédé conforme à la revendication 6.



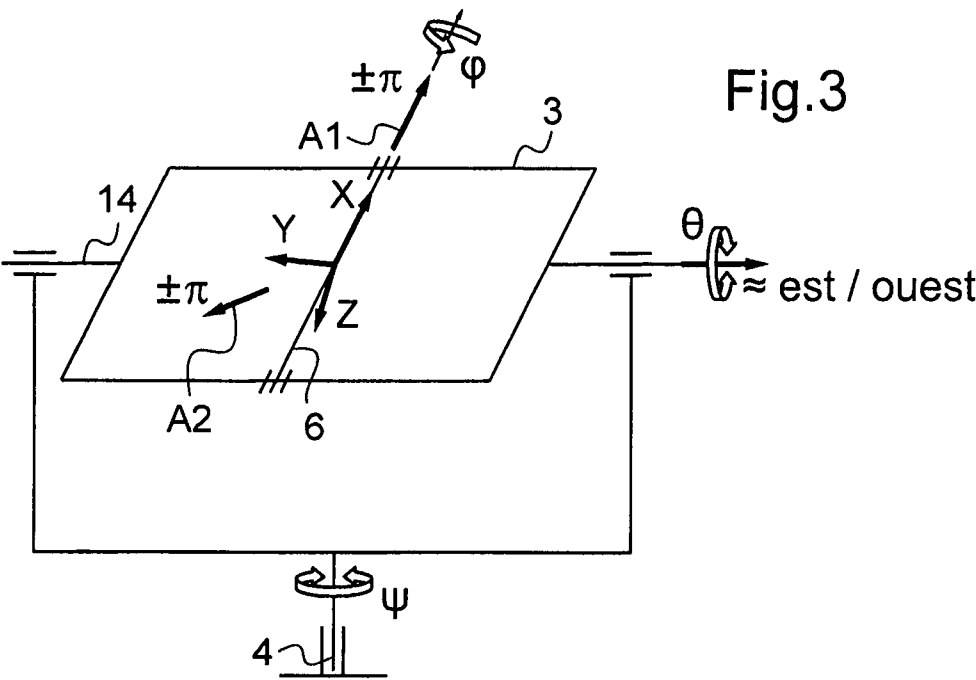


Fig.4a

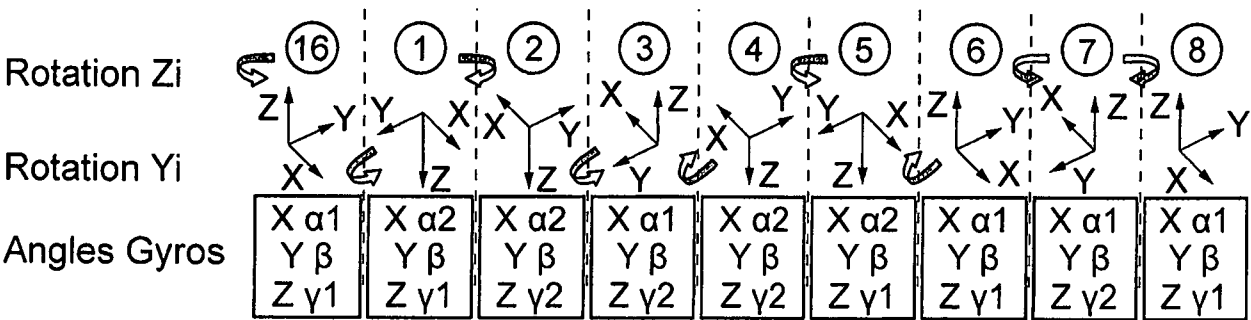


Fig.4b

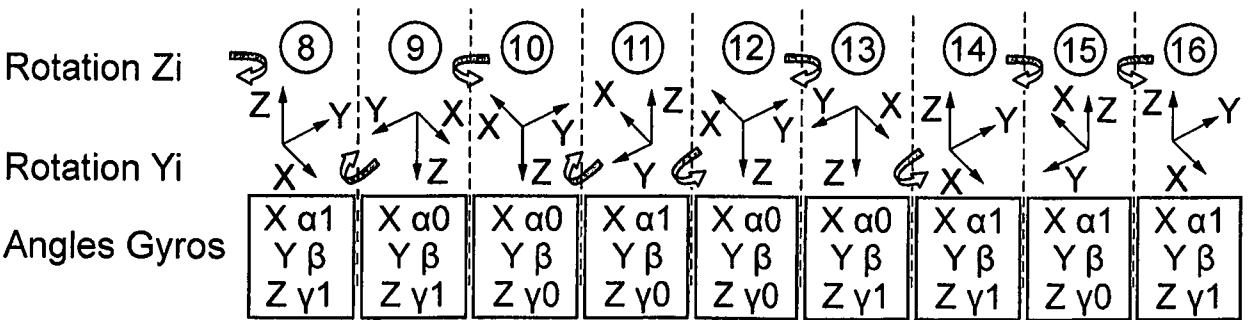


Fig.5a

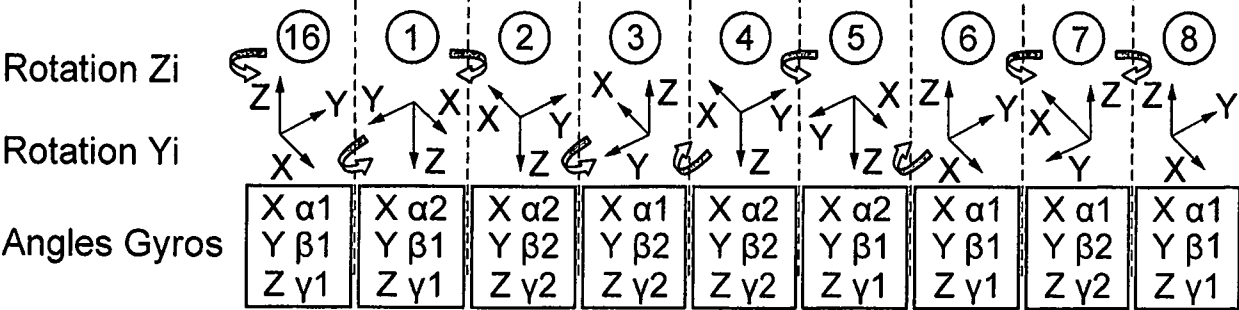
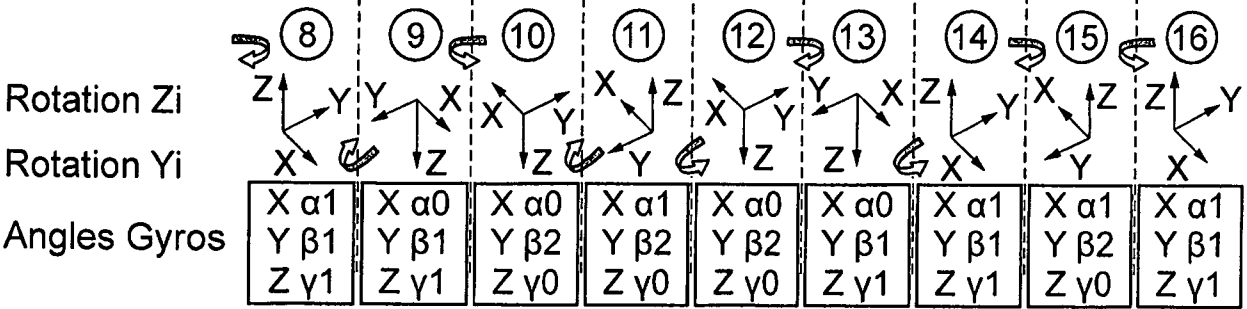


Fig.5b



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2010/006360

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01C21/16

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

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.
A	FR 2 824 393 A1 (SAGEM [FR]) 8 November 2002 (2002-11-08) cited in the application the whole document	1-13
A	EP 0 392 104 A1 (LITTON SYSTEMS INC [US]) 17 October 1990 (1990-10-17) the whole document	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

26 November 2010

Date of mailing of the international search report

06/12/2010

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

Faivre, Olivier

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2010/006360

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2824393	A1	08-11-2002	DE 10219861 A1 GB 2375173 A US 2003014874 A1	07-11-2002 06-11-2002 23-01-2003
EP 0392104	A1	17-10-1990	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2010/006360

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G01C21/16
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

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
A	FR 2 824 393 A1 (SAGEM [FR]) 8 novembre 2002 (2002-11-08) cité dans la demande le document en entier -----	1-13
A	EP 0 392 104 A1 (LITTON SYSTEMS INC [US]) 17 octobre 1990 (1990-10-17) le document en entier -----	1-13



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



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

26 novembre 2010

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

06/12/2010

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

Faivre, Olivier

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2010/006360

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2824393	A1	08-11-2002	DE 10219861 A1	07-11-2002
			GB 2375173 A	06-11-2002
			US 2003014874 A1	23-01-2003

EP 0392104	A1	17-10-1990	AUCUN	
