

12 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

22 Date de dépôt : 07.06.11.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 14.12.12 Bulletin 12/50.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : *MOVEA Société anonyme* — FR.

72 Inventeur(s) : *FLAMENT BRUNO, CARITU YANIS et AUJAY GREGOIRE.*

73 Titulaire(s) : *MOVEA Société anonyme.*

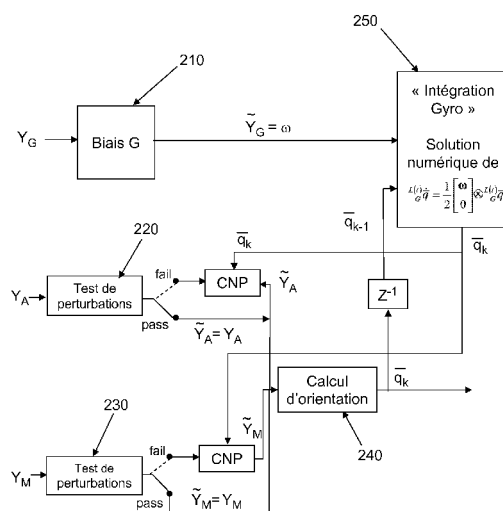
74 Mandataire(s) : *MARKS & CLERK FRANCE Société en nom collectif.*

54 **PROCEDE D'ESTIMATION SIMPLIFIE DE L'ORIENTATION D'UN OBJET ET CENTRALE D'ATTITUDE METTANT EN OEUVRE UN TEL PROCEDE.**

57 Procédé d'estimation de l'orientation d'un objet dans l'espace à l'instant k utilisant les mesures de l'accélération totale ( $y_A$ ), de champ magnétique ( $y_M$ ) et de la vitesse de rotation ( $y_G$ ) dudit objet selon trois axes de l'espace, comportant une étape de prétraitement (210, 220, 230) desdites mesures ( $y_A, y_M, y_G$ ) à un instant k pour détecter l'existence d'une perturbation dans lesdites mesures et calculer des mesures corrigées à l'instant k et une étape d'estimation de l'orientation (

$\hat{q}_k$ ) à l'instant k par un observateur à partir des mesures corrigées (

$\tilde{y}_{A,k}, \tilde{y}_{M,k}, \tilde{y}_{G,k}$ ) à l'instant k issues de l'étape de prétraitement. L'étape d'estimation comprend avantageusement l'utilisation de matrices de transformation du repère de l'objet dans un repère fixe appliquées, en cas de perturbation, à un quaternion déduit de l'intégration d'une mesure de vitesse de rotation composée avec un quaternion d'orientation calculé à l'instant k-1.



## **PROCÉDÉ D'ESTIMATION SIMPLIFIÉ DE L'ORIENTATION D'UN OBJET ET CENTRALE D'ATTITUDE METTANT EN ŒUVRE UN TEL PROCÉDÉ**

La présente invention se rapporte à un procédé d'estimation de l'orientation d'un objet dans l'espace, animé ou non d'une accélération propre et soumis ou non à une perturbation magnétique (variations inconnues autour d'un champ principalement uniforme dans l'environnement proche et constant dans le temps), et à un dispositif mettant en œuvre un tel procédé.

L'estimation de l'orientation permet de résoudre toute une classe de problèmes.

L'obtention de l'orientation nécessite généralement la mise en œuvre de plusieurs modalités de capteurs, faisant partie d'un ensemble désigné par dispositif de capture de mouvement, également désigné par centrale d'attitude.

Des capteurs MEMS (« Micro-Electro-Mechanical Systems » ou microsystèmes électromécaniques) peuvent être utilisés pour constituer cette centrale, ceux-ci présentent l'avantage d'être peu encombrants et de coût réduit. Le capteur offrant une telle combinaison de capteurs MEMS est souvent désigné sous le nom de centrale inertielle ou IMU en anglais (Inertial Measurement Unit). Une centrale d'attitude est une centrale inertielle augmentée des moyens de traitement nécessaires pour obtenir l'orientation. L'emploi de tels capteurs MEMS permet d'envisager l'utilisation de centrales d'attitude dans des domaines d'applications variés, notamment le domaine biomédical, pour la surveillance des personnes âgées à domicile, la rééducation fonctionnelle, dans le domaine sportif, pour l'analyse des mouvements des sportifs, dans les domaines automobile, robotique, de la réalité virtuelle, de l'animation en trois dimensions et plus généralement dans tout domaine dans lequel on cherche à déterminer ou à observer un mouvement.

Cependant, par rapport à des capteurs non MEMS (notamment des capteurs de fabrication classique, non issus des micro-technologies et utilisés par exemple, dans le domaine de la navigation), ces capteurs MEMS sont très peu onéreux mais ont pour inconvénients d'être relativement peu performants, bruités et biaisés.

Actuellement il existe plusieurs méthodes pour obtenir, à partir de mesures fournies par des accéléromètres, des magnétomètres et des gyromètres, une estimation de l'orientation de l'objet. Il existe notamment des méthodes mettant en œuvre un observateur, qui permettent de fusionner une information double : celle provenant des mesures fournies par les capteurs et celle provenant d'un modèle d'évolution, et ceci tout en maintenant un temps de calcul compatible avec une implémentation en temps réel sur des processeurs relativement puissants (PC, Smartphone).

Les méthodes connues mettant en œuvre un observateur reposent principalement sur l'utilisation d'un filtre de Kalman. L'avantage de cette technique est de permettre la fusion des données tout en tenant compte de la qualité de l'information apportée par les mesures fournies par les capteurs et de la qualité du modèle d'évolution des états cinétiques. Parmi les différents types de filtre de Kalman, on utilise particulièrement le filtre de Kalman étendu (« Extended Kalman Filter » ou EKF en terminologie anglo-saxonne) ; celui-ci est rapide et simple à mettre en œuvre, une de ses applications à la capture de mouvement est notamment décrite dans le document « *Quaternion-based extended Kalman filter for determination orientation by inertial and magnetic sensing* », SABATINI A.M., *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2006, 53(7).

Outre le choix du filtre, la qualité des mesures injectées dans le filtre a une grande importance, et notamment la confiance qu'on accorde à leur valeur.

En effet, les mesures comportent une partie informative directement liée à l'orientation de l'objet en mouvement et une partie perturbatrice dont la nature dépend du capteur considéré. Au premier ordre, il s'agit des accélérations propres pour les mesures fournies par les accéléromètres, des perturbations magnétiques pour les mesures délivrées par le magnétomètre et le biais pour les gyromètres. Il faut également prendre en compte le bruit de mesure. Cependant celui-ci est classiquement traité dans le filtre.

Il existe plusieurs méthodes pour traiter les perturbations. On peut notamment ne pas tenir compte des mesures perturbées, mais dans le cas où les mesures de plusieurs capteurs présentent simultanément une perturbation, l'observateur n'a plus assez d'informations pour proposer une estimation correcte de l'orientation. On peut également inclure une représentation des perturbations dans le vecteur et le modèle d'état du filtre

de Kalman pour les estimer conjointement avec les paramètres de l'attitude du solide. Toutefois, l'estimation conjointe des perturbations et de l'orientation s'avère délicate du fait d'un manque d'observabilité. Elle nécessite en outre le réglage d'un grand nombre de paramètres, ce qui  
5 complexifie sa mise en œuvre.

Ces inconvénients ont été surmontés par la demande de brevet internationale publiée sous le n°WO2010/007160, dont la demanderesse est co-titulaire, qui offre un procédé d'estimation de l'orientation fournissant une estimation précise de l'orientation, en présence ou non d'accélération  
10 propres et de perturbations magnétiques, et ceci de manière simplifiée par rapport aux procédés existants. Le but énoncé précédemment est atteint par un procédé d'estimation de l'orientation sur la base de mesures selon les trois axes de l'espace de l'accélération, du champ magnétique et de la vitesse de rotation, comportant :

- 15 - une étape de prétraitement de ces mesures pour détecter l'existence d'une perturbation et estimer des mesures non perturbées, et
- une étape d'estimation de l'orientation sur la base des valeurs de mesures issues de l'étape de prétraitement.

Ce procédé présente cependant l'inconvénient de nécessiter l'utilisation  
20 d'une puissance de calcul importante qui n'est pas disponible dans un microcontrôleur.

C'est le but de la présente invention de procurer un procédé d'estimation des paramètres d'attitude d'un solide en mouvement, instrumenté par des capteurs de type accéléromètre, gyromètre et magnétomètre, qui remplace  
25 la plupart des étapes de calcul du filtre de Kalman par une prise en compte directe de mesures desdits capteurs, corrigées ou non, selon que des perturbations sont détectées ou pas, dans le vecteur d'état.

A cet effet, la présente invention divulgue un procédé d'estimation de  
30 l'orientation d'un objet dans l'espace à un instant  $k$  utilisant au moins une mesure d'au moins un champ physique sensiblement uniforme dans le temps et dans l'espace et des mesures de la vitesse de rotation dudit objet selon trois axes de l'espace, ledit procédé comprenant une première étape de détection de la présence de perturbations dans les mesures dudit au moins  
35 un champ physique et une deuxième étape de calcul d'un quaternion

## 4

d'orientation dudit objet dans l'espace déduit d'au moins une représentation des mesures dudit au moins un champ physique en sortie de la première étape, ledit procédé étant caractérisé en ce que, lorsque en sortie de ladite première étape est détectée une perturbation de ladite au moins une mesure, ladite mesure perturbée en sortie de la première étape est combinée en

5 entrée de la deuxième étape avec un quaternion d'orientation dudit objet calculé en sortie d'une troisième étape d'intégration d'une sortie corrigée de la mesure de vitesse de rotation de l'objet à partir d'un quaternion d'orientation dudit objet en sortie de la deuxième étape à l'instant  $k-1$ .

10

Avantageusement, le au moins un champ physique est la gravité terrestre.

Avantageusement, le au moins un champ physique est le champ magnétique terrestre.

15

Avantageusement, le procédé de l'invention utilise des mesures d'au moins deux champs physiques, la gravité terrestre et le champ magnétique terrestre.

20

Avantageusement, le procédé de l'invention utilise des mesures d'un seul champ physique et des valeurs d'un champ synthétique construites à partir dudit seul champ physique, ledit champ synthétique étant défini tel qu'il ait au moins une composante orthogonale audit champ physique et que son produit vectoriel avec ledit champ physique soit non nul.

25

Avantageusement, ledit champ physique est la gravité  $G_0$  et ledit champ synthétique est un vecteur constitué par une combinaison linéaire de ladite gravité  $G_0$  et d'un vecteur non nul choisi dans un plan orthogonal à  $G_0$ .

30

Avantageusement, ledit champ physique est le champ magnétique terrestre  $H_0$  et ledit champ synthétique est un vecteur constitué par une combinaison linéaire dudit champ magnétique terrestre  $H_0$  et d'un vecteur non nul choisi dans un plan orthogonal à  $H_0$ .

Avantageusement, le procédé de l'invention comprend en outre dans la première étape, une sous-étape de correction de la vitesse de rotation consistant à retrancher aux mesures de ladite vitesse de rotation un biais moyen déterminé lors d'une étape de position au repos et à lui substituer une  
5 vitesse de rotation corrigée.

Avantageusement, la première étape de détection d'une perturbation dans les mesures dudit au moins un champ consiste à déterminer si la différence de la norme des mesures dudit au moins un champ et de leurs valeurs de  
10 référence est supérieure à une valeur de seuil choisie.

Avantageusement, la deuxième étape de calcul d'un quaternion d'orientation dudit objet s'effectue par composition d'au moins deux mesures de champs physiques en sortie de la première étape et utilise un algorithme de type  
15 TRIAD.

Avantageusement, la deuxième étape de calcul d'un quaternion d'orientation dudit objet s'effectue par composition de mesures de plus de deux mesures de champs physiques en sortie de la première étape et utilise un algorithme  
20 de type QUEST.

Avantageusement, la troisième étape d'intégration d'une sortie corrigée de la mesure de vitesse de l'objet à partir d'un quaternion d'orientation dudit objet en sortie de la deuxième étape à l'instant k-1 est effectuée par  
25 résolution de l'équation différentielle :

$${}^{L(t)}\dot{\bar{q}} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \mathbf{\omega} \\ 0 \end{bmatrix} \otimes {}^{L(t)}\bar{q}$$

Avantageusement, le quaternion estimé de l'objet en sortie de la deuxième étape est normalisé.  
30

La présente invention divulgue également une centrale d'attitude d'un objet dans l'espace comprenant des moyens de mesure d'au moins un champ physique et de la vitesse de rotation dudit objet selon trois axes de l'espace, ladite centrale comprenant un premier module de prétraitement à l'instant k

## 6

pour détecter la présence du au moins un champ physique et un deuxième module de calcul d'un quaternion d'orientation d'au moins une représentation de l'orientation dudit objet calculée à partir d'au moins une représentation des mesures dudit au moins un champ physique en sortie du premier module, ladite centrale étant caractérisée en ce que, lorsque en sortie dudit premier module est détectée une perturbation de ladite au moins une mesure ladite mesure perturbée en sortie du premier module est remplacée en entrée du deuxième module par une mesure combinée avec un quaternion d'orientation dudit objet calculé en sortie d'un troisième module d'intégration d'une sortie corrigée de la mesure de vitesse de l'objet à partir d'un quaternion d'orientation dudit objet en sortie du deuxième module à l'instant k-1.

L'invention présente est utilisable pour toutes les combinaisons de capteurs comportant :

- au moins un capteur apte à restituer une information représentative de la vitesse angulaire (par exemple : un gyroscope, un couple d'accéléromètres séparés par un bras de levier, ...)
- et au moins un capteur apte à restituer une information représentative d'un champ physique  $\mathbf{P}_0$  principalement uniforme et constant dans le temps et l'espace

Le dispositif de l'invention sera préférablement composé d'un gyroscope, d'un accéléromètre (apte à mesurer le champ terrestre gravitationnel  $\mathbf{G}_0$ ) et d'un magnétomètre (apte à mesurer le champ terrestre magnétique  $\mathbf{H}_0$ ).

L'invention présente l'avantage de permettre une estimation de la vraie accélération et des vraies perturbations magnétiques :

$$\text{MesuresAccelero} = \text{MatriceOrientation} * (\text{AccVraie} - \mathbf{G}_0(0,0,1))$$

$$\text{AccVraie} = \text{Transpose}(\text{MatriceOrientation}) * \text{MesuresAccelero} + \mathbf{G}_0(0,0,1).$$

L'invention présente en outre l'avantage de permettre le choix des capteurs dont les mesures sont à privilégier en fonction de différents cas d'emploi. Notamment, dans le cas où une perturbation est détectée sur l'accéléromètre ou le magnétomètre, on privilégie les sorties de l'autre capteur et on réalise un traitement adapté qui est compatible avec une faible capacité de calcul et avec une faible capacité mémoire.

35

La présente invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre et des dessins en annexe, sur lesquels :

- la figure 1 représente une architecture fonctionnelle de mise en oeuvre du procédé selon l'art antérieur pour l'échantillon k ;
- 5 - la figure 2 représente une architecture fonctionnelle de mise en oeuvre du procédé de l'invention pour l'échantillon k, dans un de ses modes de réalisation ;

La figure 1 représente une architecture fonctionnelle de mise en oeuvre du  
10 procédé selon l'art antérieur pour l'échantillon k.

Cette figure illustre la mise en oeuvre du procédé divulgué par la demande internationale publiée sous le n°WO2010/007160, dont les notations et certaines étapes sont utilisées dans le cadre de la mise en oeuvre de la présente invention.

15 On souhaite obtenir l'orientation d'un objet se déplaçant dans l'espace, par exemple l'orientation d'une personne (si le capteur est disposé sur le buste ou à la ceinture) ou d'un segment d'une personne (si le capteur est disposé sur la partie du corps à laquelle on s'intéresse). Pour cela, on utilise une centrale d'attitude comportant des capteurs aptes à fournir des mesures de  
20 l'accélération totale, de champ magnétique et de la vitesse de rotation selon les trois axes de l'espace. Les capteurs sont avantageusement des capteurs MEMS offrant un prix de revient réduit et un encombrement limité.

Ce procédé de l'art antérieur comporte une étape 110 d'initialisation de la centrale d'attitude, une étape 120 de prétraitement des mesures fournies par  
25 les capteurs et une troisième étape de traitement 130 par un observateur, de type Extended Kalman Filter ou EKF.

Selon l'invention, on peut diversifier les capteurs ; par exemple, pour la mesure de l'accélération, le système peut être constitué d'un accéléromètre  
30 tri axe ou de trois accéléromètres mono axe fournissant une mesure sur chacun des axes.

Notre invention décrit principalement le procédé utilisant les trois modalités de mesures précitées mais le raisonnement est le même pour un autre triplet de capteurs.

## 8

Les propriétés minimales du dispositif doivent, de manière privilégiée, être les suivantes :

- Un capteur de mesure  $\mathbf{y}_G$  à au moins un axe sensible, apte à restituer une mesure liée à la vitesse angulaire  $\omega$  par un modèle identifiable ;

5 - Un capteur de mesure  $\mathbf{y}_A$  à au moins un axe sensible apte à restituer une mesure d'un champ de référence  $\mathbf{G}_0$  fixe dans le repère de référence et identifiable à un moment donné, auquel peut s'ajouter une variation  $\mathbf{a}$  de même nature que  $\mathbf{G}_0$  mais non connue a priori ;

Préférentiellement, ces capteurs sont respectivement : un gyromètre et un  
10 accéléromètre ou un magnétomètre. Il faut noter que dans le procédé s'appuyant sur le précédent dispositif, une étape de construction d'une mesure d'un champ physique synthétique orthogonal à  $\mathbf{G}_0$  sera alors réalisée.

Un dispositif préférable un peu plus coûteux mais plus performant possède  
15 les propriétés minimales suivantes :

- Un capteur de mesure  $\mathbf{y}_G$  à au moins un axe sensible, apte à restituer une mesure liée à la vitesse angulaire  $\omega$  par un modèle identifiable ;

- Un capteur de mesure  $\mathbf{y}_A$  à au moins un axe sensible apte à restituer  
20 une mesure d'un champ de référence  $\mathbf{G}_0$  fixe dans le repère de référence et identifiable à un moment donné, auquel peut s'ajouter une variation  $\mathbf{a}$  de même nature que  $\mathbf{G}_0$  mais non connue a priori ;

- Un capteur de mesure  $\mathbf{y}_M$  à au moins un axe de mesure apte à  
25 restituer une mesure d'un champ de référence  $\mathbf{H}_0$  fixe dans le repère de référence et identifiable à un moment donné, auquel peut s'ajouter une variation  $\mathbf{m}$  de même nature que  $\mathbf{G}_0$  mais non connue a priori.

Préférentiellement, ces capteurs sont respectivement : un gyromètre, un accéléromètre et un magnétomètre.

Il faut noter que ces trois types de capteurs fournissent des informations complémentaires en vue d'une meilleure estimation de l'orientation,  
30 notamment si l'on dispose de capteurs tri-axiaux :

- Le gyromètre, si on l'intègre, apporte des informations angulaires à trois degrés de liberté, mais en relatif, c'est-à-dire avec une propension à la dérive si ledit gyromètre est utilisé seul ;

- L'accéléromètre apporte deux degrés de liberté angulaires absolus (roll et pitch), qui sont accessibles en statique si ledit accéléromètre est utilisé seul ;

5 - Le magnétomètre apporte deux degrés de liberté angulaires (dont le lacet ou yaw), qui sont accessibles dans un contexte non perturbé magnétiquement si ledit magnétomètre est utilisé seul.

On peut généraliser la présente invention qui reste valable pour tout capteur axial apte à mesurer une direction uniforme de l'espace pour remplacer les  
10 capteurs de mesure du champ physique apportant une information additionnelle au gyroscope.

On pense notamment aux mesures de DOA (Direction of Arrival) pour tout type d'ondes électromagnétiques, en particulier les champs d'ondes émis par les balises que les opérateurs de téléphonie mobile utilisent pour mailler  
15 l'espace de couverture de réseau, ou des cellules photoélectriques selon des modalités divulguées par la demande de brevet européenne publiée sous le n° EP1984696). Il peut s'agir aussi d'un dispositif utilisant des ondes ultrasonores planes provenant d'une source lointaine et dont la direction est mesurée et joue le rôle du champ physique.

20 Un des avantages du couple accéléromètre-magnétomètre est la capacité de chacun de ces deux capteurs à fournir ces deux DDL complémentaires. On peut cependant très bien utiliser d'autres capteurs vectoriels qui se complètent de la même manière. L'accéléromètre est cependant nécessaire si on veut estimer l'accélération propre, la vitesse linéaire ou la  
25 position...

Pour les mesures de champ magnétique, les capteurs privilégiés peuvent être un magnétomètre tri axe ou trois magnétomètres mono axe.

Pour la mesure de la vitesse de rotation, les capteurs privilégiés peuvent être trois gyromètres mono axe, avantageusement deux gyromètres bi axe ou un  
30 gyromètre tri axe.

Les triaxes peuvent être alignés ou non, dans ce dernier cas l'orientation relative entre les axes doit être connue.

Dans la suite de la description, à des fins de simplicité, nous désignerons le ou les accéléromètres, par un accéléromètre, le ou les magnétomètres par

## 10

un magnétomètre et le ou les gyromètres par un gyromètre. Ces capteurs sont attachés à l'objet dont on souhaite connaître l'orientation.

Nous disposons des mesures  $\mathbf{Y}$ , que nous modélisons en notations vectorielles par :

$$\begin{cases} \mathbf{Y}_A = {}^L_G \mathbf{R} ({}^G \mathbf{G}_0 + {}^G \mathbf{a}) + \mathbf{v}_A \\ \mathbf{Y}_M = {}^L_G \mathbf{R} ({}^G \mathbf{H}_0 + {}^G \mathbf{h}) + \mathbf{v}_M \\ \mathbf{Y}_G = {}^L \boldsymbol{\omega} + \mathbf{b} + \mathbf{v}_G \end{cases} \quad (1)$$

Où les préfixes  $L$  et  $G$  précisent si le vecteur est exprimé dans le repère global  $\{G\}$  fixe ou dans le repère local  $\{L\}$  mobile. avec :

- 10  $\mathbf{Y}_A$  : mesure tri-axe de l'accélération totale fournie par l'accéléromètre,
- $\mathbf{Y}_M$  : mesure tri-axe du champ magnétique fournie par le magnétomètre,
- $\mathbf{Y}_G$  : mesure tri-axe de la vitesse de rotation fournie par le gyromètre, notée également  $\boldsymbol{\omega}$
- 15  ${}^L_G \mathbf{R}$  : est la matrice de passage du repère global au repère local (matrice de rotation),
- $\mathbf{G}_0$  : champ de gravité terrestre (vecteur 3x1), exprimé dans le repère fixe en général, soit (0,0,1),
- 20  $\mathbf{H}_0$  : champ magnétique terrestre (vecteur 3x1), également exprimé dans le repère fixe en général, soit (0.5 ; 0 ;  $\frac{\sqrt{3}}{2}$  )
- $\boldsymbol{\omega}$  : vitesse angulaire,
- $\mathbf{a}$  : accélérations propres ou variations perturbatrices d'accélération.
- 25  $\mathbf{h}$  : perturbations magnétiques,
- $\mathbf{b}$  : biais du gyromètre,
- $\mathbf{v}_A$  : bruit de mesure de l'accéléromètre,
- $\mathbf{v}_M$  : bruit de mesure du magnétomètre,

$v_G$  : bruit de mesure du gyromètre.

L'orientation est estimée par rapport à un repère de référence, entièrement défini par la donnée des vecteurs  $\mathbf{G}_0$  et  $\mathbf{H}_0$ . Par exemple,  
 5 le repère géocentrique est défini par les vecteurs  
 $\mathbf{G}_0 (0 ; 0 ; 1)$  et  $\mathbf{H}_0 (0.5 ; 0 ; \frac{\sqrt{3}}{2})$

A des fins de simplicité, nous ne distinguerons pas les mesures selon les trois directions de l'espace.

Comme cela apparaît clairement au vu de la définition  
 10 mathématique des mesures (voir par exemple : Harold D. Black. *A passive system for determining the attitude of a satellite*. American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal, 2(7):1350–1351, July 1964), chacune de ces mesures comporte respectivement une première partie «  $R_{G_0}$  », «  $R_{H_0}$  » et  $\omega$ , qui contient l'information permettant d'obtenir une estimation  
 15 de l'orientation, une deuxième partie  $a$ ,  $d$  et  $b$  qui représente les perturbations éventuelles pouvant apparaître, de façon aléatoire dans les mesures, et enfin une troisième partie  $v_A$ ,  $v_M$ ,  $v_G$  représentant le bruit de mesure au niveau de chaque capteur.

On commence par définir ci-dessous les conventions de notation  
 20 utilisées dans la suite des développements .

On utilise de manière préférentielle les quaternions pour la représentation des grandeurs. Il existe plusieurs notations de quaternions. La notation académique est celle de Hamilton. Nous utiliserons plutôt celle qui privilégie les multiplications de quaternions dans un ordre naturel. Elle a été proposée  
 25 par le JPL (Jet Propulsion Laboratory) en 1999 (voir par exemple : W. G. Breckenridge, "Quaternions - Proposed Standard Conventions," JPL, Tech. Rep. INTEROFFICE MEMORANDUM. IOM 343-79-1199, 1999 ;  
 Nikolas Trawny et Stergios I. Roumeliotis, "Indirect Kalman Filter for 3D Attitude Estimation", A Tutorial for Quaternion Algebra, Department of  
 30 Computer Science & Engineering, University of Minnesota. Technical Report, 2005-002, Rev. 57, March 2005).

Selon cette notation, le quaternion sera noté  $\bar{q}$  et défini comme suit :

## 12

$$\bar{q} = \underbrace{q_4}_{\text{partie réelle}} + \underbrace{q_1\mathbf{i} + q_2\mathbf{j} + q_3\mathbf{k}}_{\text{partie imaginaire}} \quad (2)$$

En notation matricielle, on peut aussi écrire :

$$\bar{q} = \begin{bmatrix} \mathbf{q} \\ q_4 \end{bmatrix} = [q_1 \quad q_2 \quad q_3 \quad q_4]^T \quad (3)$$

Si  $\mathbf{q}$  et  $q_4$  remplissent les conditions ci-après, ce qui sera le cas pour tout notre exposé,  $\bar{q}$  est dit quaternion unitaire. Il représente alors une rotation d'angle  $\theta$  autour du vecteur unitaire  $\hat{\mathbf{k}}$  :

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} k_x \sin(\theta/2) \\ k_y \sin(\theta/2) \\ k_z \sin(\theta/2) \end{bmatrix} = \hat{\mathbf{k}} \sin(\theta/2) \quad \text{et} \quad q_4 = \cos(\theta/2) \quad (4)$$

- 5 Un vecteur  $\mathbf{p}$  dans l'espace (3 coordonnées) peut être représenté sous forme de quaternion :

$$\bar{p} = \begin{bmatrix} \mathbf{p} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Nous utiliserons les notations suivantes pour préciser les repères de référence dans lesquels les vecteurs s'expriment :

$${}^L\mathbf{p} = {}^L C(\bar{q})^G \mathbf{p} \quad (6)$$

Où :

- 10
- $\bar{q} = {}^L \bar{q}$
  - ${}^L C(\bar{q})$  est une matrice de rotation (3x3) qui exprime le repère global  $\{G\}$  dans le repère local  $\{L\}$ .

- 15 Avec cette notation, on peut passer du système de coordonnées du repère local (repère capteur mobile) au global (repère fixe) et inversement par l'expression suivante :

## 13

$${}^L\bar{p} = {}^L\bar{q} \otimes {}^G\bar{p} \otimes {}^L\bar{q}^{-1} \quad (7)$$

Nous manipulons des vitesses angulaires du système de coordonnées local  $\{L\}$  communément celui du capteur en mouvement par rapport au repère global  $\{G\}$ , la dérivée temporelle du quaternion s'exprime à partir de  
5 l'expression générale (voir Trawny et Roumeliotis, référence citée ci-dessus) :

$${}^L\dot{\bar{q}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \left( {}^{L(t+\Delta t)}\bar{q} - {}^{L(t)}\bar{q} \right) \quad (8)$$

Or :

$${}^{L(t+\Delta t)}\bar{q} = {}^{L(t)}\bar{q} \otimes {}^{L(t)}\bar{q} \quad (9)$$

Où la rotation de  $\{L(t)\}$  à  $\{L(t+\Delta t)\}$  s'exprime de la façon suivante:

$${}^{L(t+\Delta t)}\bar{q} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{k}} \sin(\theta/2) \\ \cos(\theta/2) \end{bmatrix} \underset{\Delta t \approx 0}{\approx} \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{k}} \cdot \theta / 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \delta \boldsymbol{\theta} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Le vecteur  $\delta \boldsymbol{\theta}$  est de même direction que l'axe de la rotation faisant passer de  $\{L(t)\}$  à  $\{L(t+\Delta t)\}$  et a une magnitude égale à l'angle de rotation. Or, la  
10 définition de la vitesse angulaire nous donne :

$$\boldsymbol{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\delta \boldsymbol{\theta}}{\Delta t} \quad (11)$$

Donc, d'après les expressions (8),(9),(10) et (11) :

$${}^L\dot{\bar{q}} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\omega} \\ 0 \end{bmatrix} \otimes {}^{L(t)}\bar{q} \quad (12)$$

Nous aurons besoin d'intégrer un quaternion pour estimer les angles à partir des mesures  $\boldsymbol{\omega}$  du gyro. Intégrer un quaternion est équivalent à résoudre  
15 l'équation différentielle du 1<sup>er</sup> ordre ci-dessus. Dans Trawny et Roumeliotis, (référence citée ci-dessus), on trouve la solution à l'ordre 0:

## 14

$${}^L\bar{q}_G(t_{k+1}) = \left( \cos\left(\frac{|\omega|}{2}\Delta t\right) + \frac{1}{|\omega|} \sin\left(\frac{|\omega|}{2}\Delta t\right) \cdot \Omega(\omega) \right) {}^L\bar{q}_G(t_k) \quad (13)$$

Où

$$\Omega(\omega) = \begin{bmatrix} 0 & \omega_z & -\omega_y & \omega_x \\ -\omega_z & 0 & \omega_x & \omega_y \\ \omega_y & -\omega_x & 0 & \omega_z \\ -\omega_x & -\omega_y & -\omega_z & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

(13) a une expression plus stable lorsque  $\omega \rightarrow 0$  :

$$\lim_{|\omega| \rightarrow 0} ({}^L\bar{q}_G(t_{k+1})) = \left( I_{4 \times 4} + \frac{\Delta t}{2} \Omega(\omega) \right) {}^L\bar{q}_G(t_k) \quad (15)$$

Notons que (13) peut se réécrire aussi :

$${}^L\bar{q}_G(t_{k+1}) = \begin{bmatrix} \frac{\omega}{|\omega|} \cdot \sin\left(\frac{|\omega|}{2}\Delta t\right) \\ \cos\left(\frac{|\omega|}{2}\Delta t\right) \end{bmatrix} \otimes {}^L\bar{q}_G(t_k) \quad (16)$$

où l'on voit que la solution à  $t_{k+1}$  n'est autre que la rotation du repère  
 5 précédent pris à  $t_k$  selon un axe défini par  $\omega$  avec un angle de rotation égal à  $|\omega|\Delta t$ , ce qui correspond à l'hypothèse à l'ordre 0 qui veut que  $\omega$  est constant entre  $t_k$  et  $t_{k+1}$ . Un homme du métier de la capture de mouvement pourra consulter la littérature, notamment Trawny et Roumeliotis, (référence citée ci-dessus) pour établir les solutions aux ordres supérieurs (accélération  
 10 angulaire constante, jerk angulaire constant, etc...).

Le cadre de référence des notations permettant de décrire la présente invention est maintenant posé.

Nous pouvons à présent décrire les étapes du procédé de traitement à l'aide des notations précédemment définies.

La figure 2 représente une architecture fonctionnelle de mise en oeuvre du procédé de l'invention pour l'échantillon k, dans un de ses modes de réalisation.

- Avec les mêmes nommages de variables que dans la référence Black citée plus haut, on peut écrire les modèles de mesure pour les différents capteurs du dispositif considéré (deux capteurs de champs  $\mathbf{G}_0$  et  $\mathbf{H}_0$  uniformes dans le repère absolu, par exemple un accéléromètre et un magnétomètre, et un capteur représentatif de la vitesse angulaire, par exemple un gyromètre) sous la forme :

$$\begin{pmatrix} \mathbf{Y}_G \\ \mathbf{Y}_A \\ \mathbf{Y}_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\omega} + \mathbf{b} \\ \bar{q} \otimes (\mathbf{G}_0 + \mathbf{a}) \otimes \bar{q}^{-1} \\ \bar{q} \otimes (\mathbf{H}_0 + \mathbf{h}) \otimes \bar{q}^{-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{v}_G \\ \mathbf{v}_A \\ \mathbf{v}_M \end{pmatrix} \quad (17)$$

10

A  $t_0$ , on peut considérer que le dispositif est dans sa position neutre ou de référence et qu'il est immobile, de sorte que seuls les champs  $\mathbf{G}_0$  et  $\mathbf{H}_0$  sont mesurés, sans accélération  $\mathbf{a}$  ni perturbation  $\mathbf{h}$ . Le repère capteur se confond avec le repère fixe de référence et, si on néglige les bruits capteurs :

$$\begin{pmatrix} \mathbf{Y}_G(t_0) \\ \mathbf{Y}_A(t_0) \\ \mathbf{Y}_M(t_0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ {}^G \mathbf{G}_0 \\ {}^G \mathbf{H}_0 \end{pmatrix} \quad (18)$$

- 15 Cette équation montre qu'on peut enregistrer par la mesure les champs de référence  $\mathbf{G}_0$  et  $\mathbf{H}_0$  à  $t_0$  ou, si on le désire, à chaque fois que  $\mathbf{a}$  et  $\mathbf{h}$  sont nuls. A  $t > t_0$ , considérons que le dispositif a quitté sa position neutre et se met en mouvement.

Le principe général des traitements selon l'invention est le suivant :

- 20 - Les mesures sont pré-traitées soit pour éliminer le biais (cas du gyromètre), soit pour détecter les perturbations dont elles sont éventuellement affectées ; ces pré-traitements sont similaires à ceux effectués selon l'art antérieur ; ils sont indiqués sur la figure 2 par les références 210, 220 et 230 ;
- 25 - Lorsque les mesures en sortie de l'accéléromètre et du magnétomètre (ou d'autres capteurs remplissant les mêmes fonctions, comme indiqué plus haut) ne sont pas perturbées,

l'orientation est fournie par un algorithme classique représenté sur la figure 2 par la référence 240 ;

- Lorsqu'une des mesures en sortie d'un de ces capteurs est perturbée, elle est remplacée en entrée de l'algorithme de calcul de l'orientation par une mesure reconstruite à partir du quaternion calculé par un algorithme référencé 250 sur la figure 2, auquel sont fournis la vitesse angulaire en sortie du gyromètre et le quaternion en sortie de l'algorithme de calcul 240 à l'instant k-1.

Les mesures sont donc d'abord pré-traitées :

- Le traitement 210 permet de filtrer le gyromètre pour éliminer son biais **b**. Ce traitement consiste à évaluer sa variance sur une fenêtre glissante d'une durée choisie T (par exemple 1 seconde). Si la variance reste en deça d'un certain seuil, on peut considérer que le gyromètre ne subit pas de vitesse angulaire. On établit la moyenne sur la fenêtre, ce qui donne une estimée du biais **b** sur chaque axe de mesure.

210 s'exprime donc ainsi:

$$\begin{aligned} \text{si } \text{var}(Y_G(t_{k-T+1}), \dots, Y_G(t_k)) \leq \alpha_G &\Rightarrow \tilde{Y}_G(t_k) = Y_G(t_k) - \langle Y_G \rangle_T \\ \text{si } \text{var}(Y_G(t_{k-T+1}), \dots, Y_G(t_k)) > \alpha_G &\Rightarrow \tilde{Y}_G(t_k) = Y_G(t_k) \end{aligned} \quad (19)$$

on applique ce procédé préférentiellement à l'initialisation en veillant à ce que le mobile observe une période stable supérieure à T ; néanmoins, le biais peut être calculé en permanence sachant qu'il ne sera rafraîchi que si les conditions de seuil (19) sont respectées; dans (19) , le test est effectué pour chaque axe du gyroscope, ce qui permet de corriger éventuellement un axe lorsqu'aucun mouvement rotatoire n'est observé par ledite axe ; néanmoins, on peut remplacer  $Y_G$  par sa norme pour ce test de la variance ; En ce cas, il faut que le mobile observe une position stable absolue (complète) pour que les corrections s'appliquent (par conséquent sur tous les axes) ; on confondra parfois la notation  $t_k$  avec la notation k pour désigner l'instant.

30

- Le traitement 220 permet de tester les mesures de l'accéléromètre (ou d'un capteur équivalent de champ uniforme) ; on applique le test proprement dit de l'existence ou non d'une accélération propre. Pour ce

faire, on compare la norme de la mesure  $\mathbf{Y}_{A,k}$  à la norme du champ gravitationnel (pour rappel, on travaille en multiple de  $G_0$ ), on fait donc une comparaison par rapport à 1 : Si  $\left| \|\mathbf{Y}_{A,k}\| - 1 \right| < \alpha_A$ ,

5 Avantageusement, en cas de test positif, on ajoute le test suivant :  
 $|\hat{a}_{k-1}| < \beta_A$

La comparaison de la norme de l'accélération propre estimée à l'instant k-1,  $\hat{a}_{k-1}$ , à  $\beta_A$ , permet avantageusement d'exclure des cas particuliers pour lesquels le premier test ne suffirait pas. En effet, on considère que si à l'instant k-1 l'accélération propre a une valeur élevée, i.e. supérieure à  $\beta_A$ , il est peu probable qu'à l'instant k l'accélération propre soit inférieure à  $\beta_A$ .  $\alpha_A$  et  $\beta_A$  sont par exemple 10 égaux à 0,04 et 0,2 respectivement.

Ce deuxième test améliore donc la précision de l'estimation de la mesure non perturbée  $\tilde{\mathbf{Y}}_{A,k}$  et donc de l'estimation de l'orientation.

15 → Si les tests ci-dessus sont positifs, on décide alors que l'accélération propre  $\hat{a}_k$  est nulle à l'instant k.

Le raisonnement est le même pour le filtre 230 concernant le magnétomètre (ou un autre capteur équivalent de champ uniforme).

20 La suite consiste à construire des mesures non perturbées :

- Si les tests précédents 220 ou 230 sont positifs, il n'y a pas de perturbations :

$$\begin{aligned} si\ test_{220} > 0 &\Rightarrow \tilde{\mathbf{Y}}_{A,k} = \mathbf{Y}_A \\ si\ test_{230} > 0 &\Rightarrow \tilde{\mathbf{Y}}_{M,k} = \mathbf{Y}_M \end{aligned} \quad (20)$$

- Si les tests précédents 220 et/ou 230 sont négatifs, il y a des perturbations, on construit alors, via le filtre CNP (Construction Non Perturbée) une mesure artificielle basée sur le ou les champs de 25 référence et sur le quaternion estimé au même instant par le filtre 250, dont le fonctionnement est décrit plus loin. La construction de cette mesure non perturbée s'exprime comme suit (valable pour  $\mathbf{Y}_A$  et  $\mathbf{Y}_M$ ) :

$$\tilde{\mathbf{Y}}_k = \bar{q}_k \otimes \mathbf{G}_0 \otimes \bar{q}_k^{-1} \quad (21)$$

L'équation ci-dessus s'applique pour  $\tilde{\mathbf{Y}}_{Ak}$  autant que pour  $\tilde{\mathbf{Y}}_{Mk}$ , avec le même 30 formalisme (en utilisant  $\mathbf{H}_0$  au lieu de  $\mathbf{G}_0$ ).

Les mesures  $\tilde{Y}_{Ak}$  et  $\tilde{Y}_{Mk}$ , sont ensuite directement mises en entrée d'un algorithme de calcul traditionnel d'orientation de type TRIAD (TRI-axial Attitude Determination)

par exemple (cf : [http://en.wikipedia.org/wiki/Triad\\_Method](http://en.wikipedia.org/wiki/Triad_Method)

5 ou publication 1964 de Harold Black déjà citée). Cet algorithme permet d'estimer un quaternion de rotation à partir de la mesure des deux directions de référence fournies par les données  $\tilde{Y}_{Ak}$  et  $\tilde{Y}_{Mk}$ . Mais tout autre algorithme permettant de calculer l'orientation d'un objet dans un repère de référence à partir de sa position par rapport aux vecteurs champ gravitationnel et champ

10 magnétique terrestres (ou de tout autre champ uniforme) peut remplacer l'algorithme TRIAD. En particulier, dans le cas de plus de deux capteurs, un algorithme de type QUEST (Quaternion ESTimator), décrit notamment dans la publication <http://www.dept.aoe.vt.edu/~cdhall/courses/aoe4140/attde.pdf> et, en comparaison avec TRIAD dans

15 [http://www.malcolmdshuster.com/comm\\_1981a\\_J\\_TRIAD-QUEST.pdf](http://www.malcolmdshuster.com/comm_1981a_J_TRIAD-QUEST.pdf)

Le quaternion  $\bar{q}_k$  résultant est la réponse de notre système pour fournir l'orientation du dispositif.

Cette estimation  $\bar{q}_k$  est ensuite ré-introduite dans le système d'intégration 250. Ce traitement permet de considérer l'attitude estimée actuelle  $\bar{q}_k$  et de

20 mettre à jour à l'instant  $k+1$  grâce à la mesure de vitesse angulaire du gyromètre et la rotation élémentaire qui en découle entre  $k$  et  $k+1$ . D'après (16), le nouveau quaternion est donné par :

$${}^L_G\bar{q}(t_{k+1}) = \begin{bmatrix} \frac{\boldsymbol{\omega}}{|\boldsymbol{\omega}|} \cdot \sin\left(\frac{|\boldsymbol{\omega}|}{2} \Delta t\right) \\ \cos\left(\frac{|\boldsymbol{\omega}|}{2} \Delta t\right) \end{bmatrix} \otimes_G {}^L_G\bar{q}(t_k) \quad (22)$$

Les exemples décrits ci-dessus sont donnés à titre d'illustration de modes de réalisation de l'invention. Ils ne limitent en aucune manière le champ de

25 l'invention qui est défini par les revendications qui suivent.

**REVENDEICATIONS**

1. Procédé d'estimation de l'orientation d'un objet dans l'espace à un instant  $k$  utilisant au moins une mesure  $(y_A, y_M)$  d'au moins un champ physique sensiblement uniforme dans le temps et dans l'espace et des  
5 mesures de la vitesse de rotation  $(y_G)$  dudit objet selon trois axes de l'espace, ledit procédé comprenant une première étape de détection (220, 230) de la présence de perturbations dans les mesures dudit au moins un champ physique et une deuxième étape (240) de calcul d'un quaternion  $(\overline{q_k})$  d'orientation dudit objet dans l'espace déduit d'au  
10 moins une représentation des mesures dudit au moins un champ physique en sortie de la première étape, ledit procédé étant caractérisé en ce que, lorsque en sortie de ladite première étape est détectée une perturbation de ladite au moins une mesure  $(y_A, y_M)$ , ladite mesure perturbée en sortie de la première étape est combinée en entrée de la  
15 deuxième étape avec un quaternion d'orientation dudit objet calculé en sortie d'une troisième étape (250) d'intégration d'une sortie corrigée de la mesure de vitesse de rotation de l'objet à partir d'un quaternion d'orientation dudit objet en sortie de la deuxième étape à l'instant  $k-1$
- 20 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le au moins un champ physique est la gravité terrestre.
3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le au moins un champ physique est le champ magnétique terrestre.
- 25 4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il utilise des mesures d'au moins deux champs physiques, la gravité terrestre et le champ magnétique terrestre.
- 30 5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il utilise des mesures d'un seul champ physique et des valeurs d'un champ synthétique construites à partir dudit seul champ physique, ledit champ synthétique étant défini tel qu'il ait au moins une composante

orthogonale audit champ physique et que son produit vectoriel avec ledit champ physique soit non nul.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit champ physique est la gravité  $G_0$  et ledit champ synthétique est un vecteur constitué par une combinaison linéaire de ladite gravité  $G_0$  et d'un vecteur non nul choisi dans un plan orthogonal à  $G_0$ .
7. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit champ physique est le champ magnétique terrestre  $H_0$  et ledit champ synthétique est un vecteur constitué par une combinaison linéaire dudit champ magnétique terrestre  $H_0$  et d'un vecteur non nul choisi dans un plan orthogonal à  $H_0$ .
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend en outre dans la première étape, une sous-étape de correction (210) de la vitesse de rotation ( $y_{G,k}$ ) consistant à retrancher aux mesures de ladite vitesse de rotation un biais moyen ( $\hat{b}_{moyen}$ ) déterminé lors d'une étape de position au repos et à lui substituer une vitesse de rotation corrigée ( $\tilde{y}_{G,k}$ ).
9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la première étape de détection (220, 230) d'une perturbation dans les mesures dudit au moins un champ consiste à déterminer si la différence de la norme des mesures ( $y_A, y_M$ ) dudit au moins un champ et de leurs valeurs de référence ( $G_0, H_0$ ) est supérieure à une valeur de seuil choisie ( $\alpha_A, \alpha_M$ ).
10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la deuxième étape de calcul d'un quaternion ( $\overline{q_k}$ ) d'orientation dudit objet s'effectue par composition d'au moins deux mesures de champs physiques en sortie de la première étape et utilise un algorithme de type TRIAD.

11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la deuxième étape de calcul d'un quaternion ( $\overline{q_k}$ ) d'orientation dudit objet s'effectue par composition de mesures de plus de deux mesures de champs physiques en sortie de la première étape et utilise un algorithme de type QUEST.
12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que la troisième étape d'intégration d'une sortie corrigée de la mesure de vitesse de l'objet à partir d'un quaternion d'orientation dudit objet en sortie de la deuxième étape à l'instant k-1 est effectuée par résolution de l'équation différentielle :
- $${}^{L(t)}\dot{\overline{q}} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\omega} \\ 0 \end{bmatrix} \otimes {}^{L(t)}\overline{q}$$
13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le quaternion estimé de l'objet en sortie de la deuxième étape est normalisé.
14. Centrale d'attitude d'un objet dans l'espace comprenant des moyens de mesure d'au moins un champ physique ( $y_A, y_M$ ) et de la vitesse de rotation ( $y_G$ ) dudit objet selon trois axes de l'espace, ladite centrale comprenant un premier module de prétraitement à l'instant k pour détecter la présence du au moins un champ physique ( $y_A, y_M$ ) et un deuxième module de calcul d'un quaternion ( $\overline{q_k}$ ) d'orientation d'au moins une représentation de l'orientation dudit objet calculée à partir d'au moins une représentation des mesures dudit au moins un champ physique en sortie du premier module, ladite centrale étant caractérisée en ce que, lorsque en sortie dudit premier module est détectée une perturbation de ladite au moins une mesure ( $y_A, y_M$ ), ladite mesure perturbée en sortie du premier module est remplacée en entrée du deuxième module par une mesure combinée avec un quaternion d'orientation dudit objet calculé en sortie d'un troisième module d'intégration d'une sortie corrigée de la mesure de vitesse de l'objet à partir d'un quaternion d'orientation dudit objet en sortie du deuxième module à l'instant k-1.

1/4

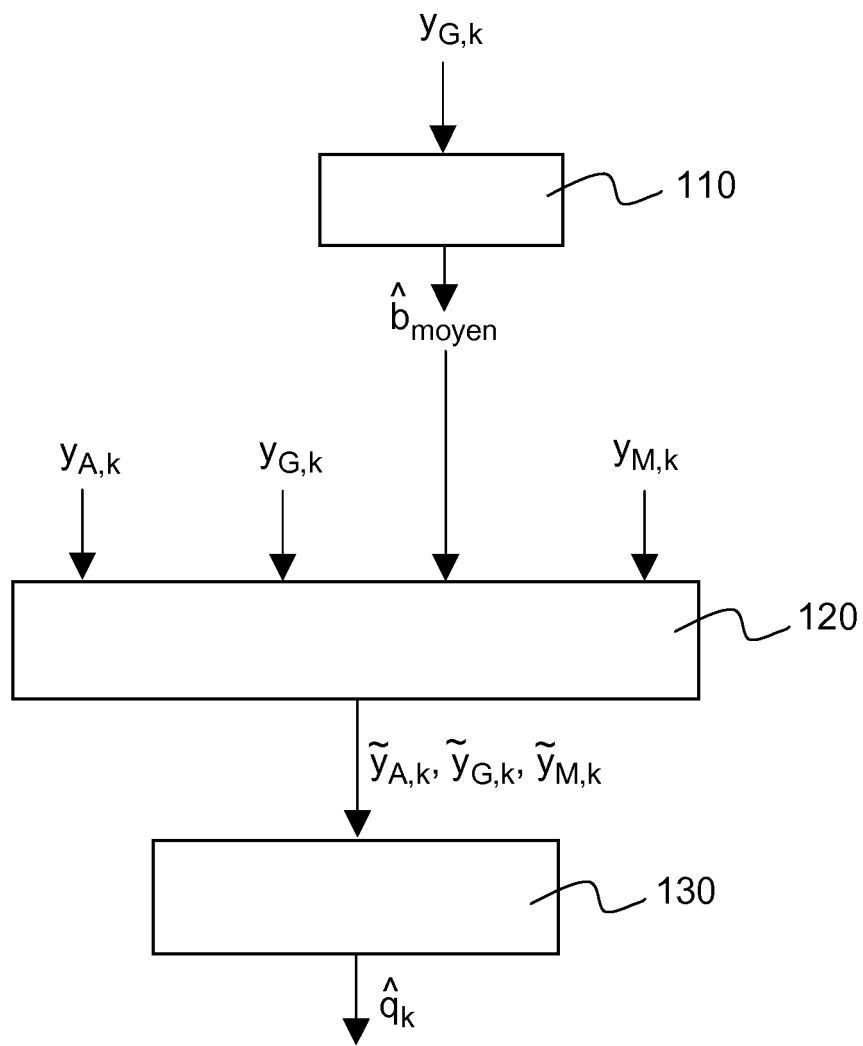


FIG.1

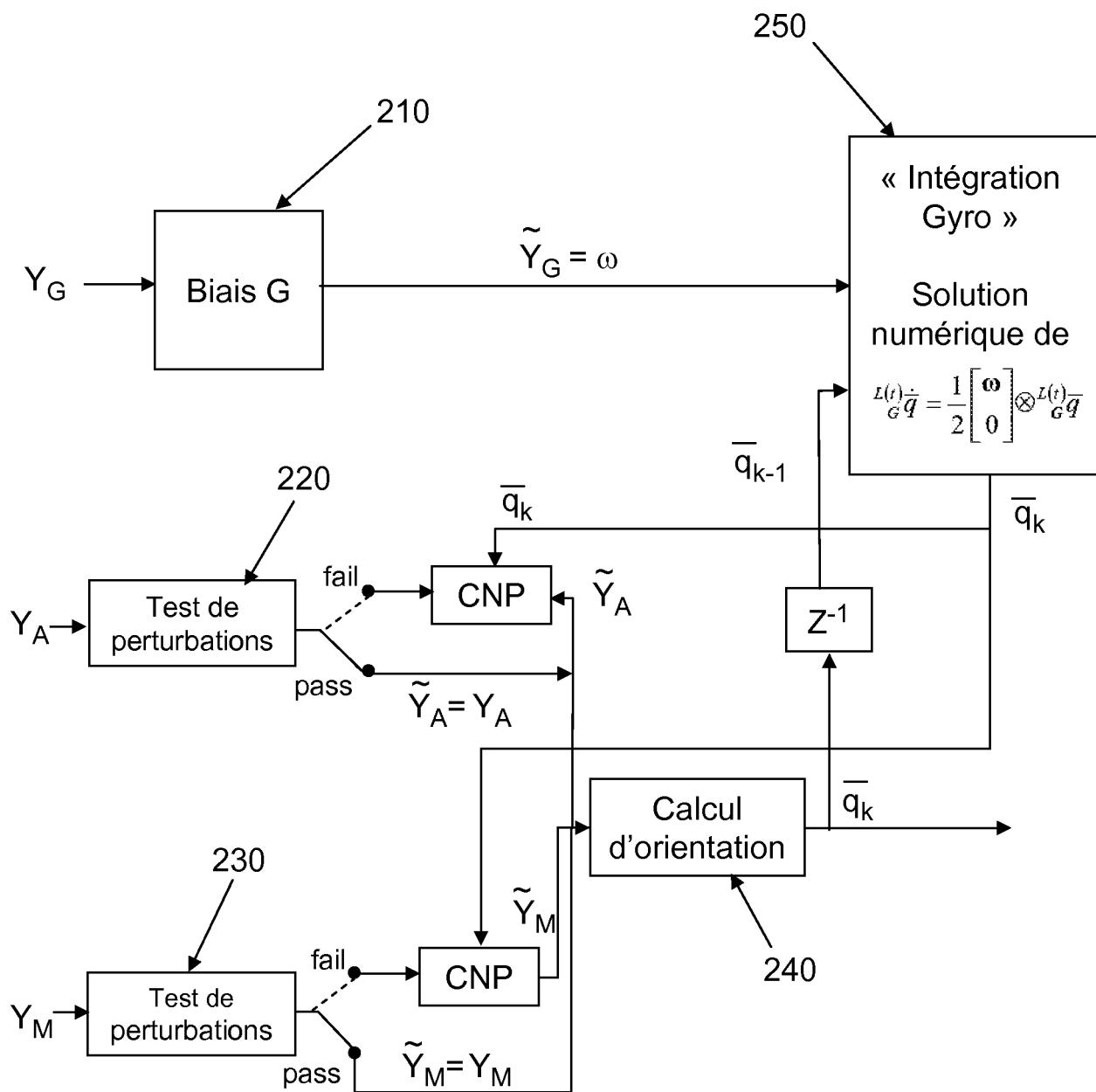


FIG.2

3/4

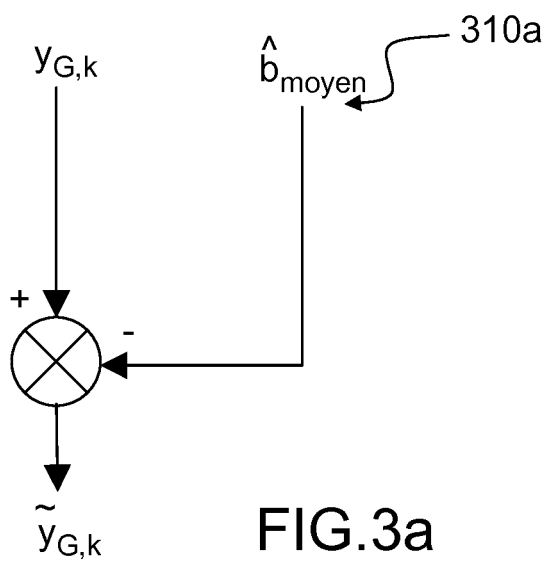


FIG.3a

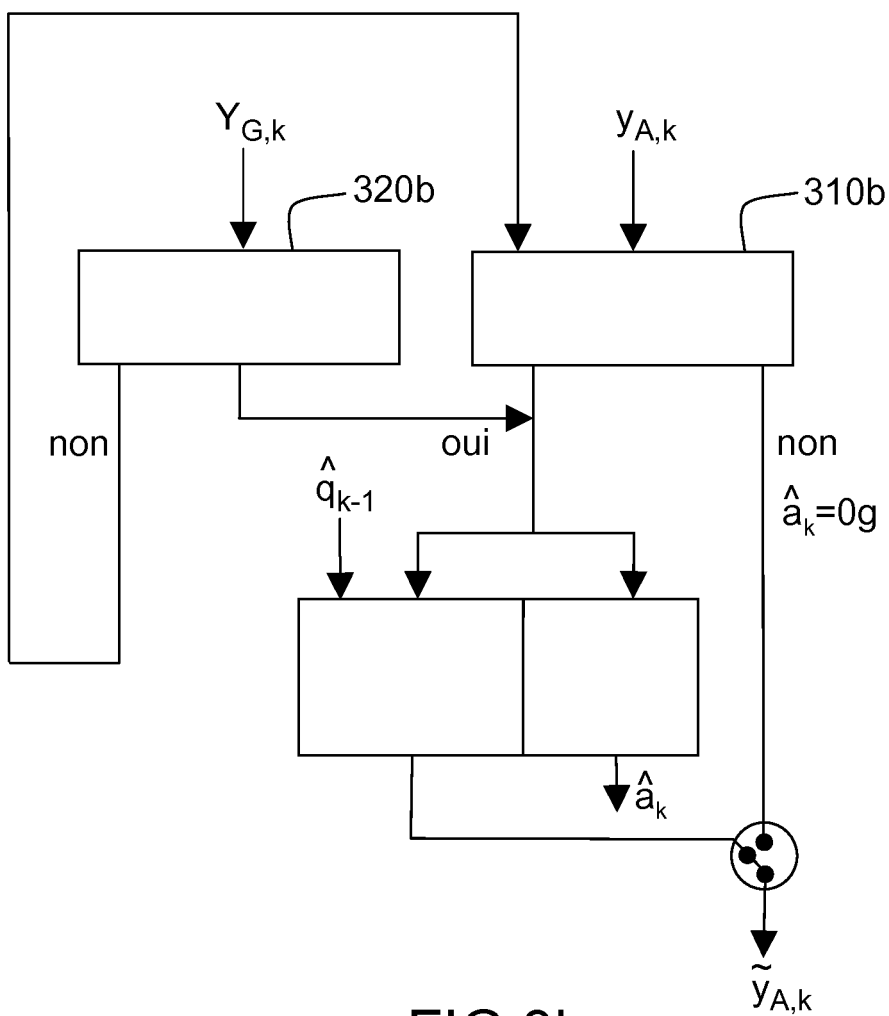


FIG.3b

4/4

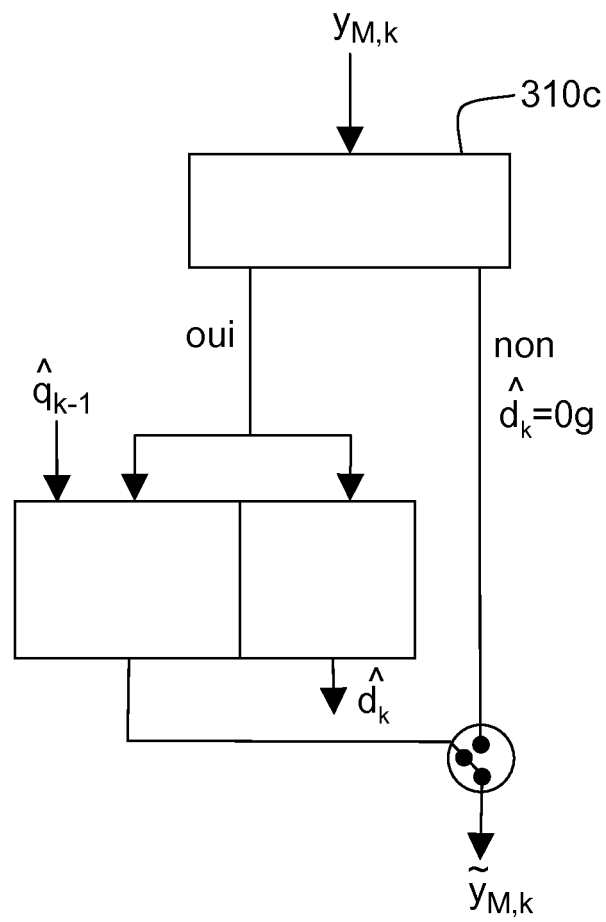


FIG.3c



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 753230  
FR 1154915

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A,D	WO 2009/127561 A1 (MOVEA S A [FR]; DE FORAS ETIENNE [FR]) 22 octobre 2009 (2009-10-22) * page 7, ligne 5 - ligne 24 * * page 10, ligne 4 - page 11, ligne 19 * * page 17, ligne 12 - page 20, ligne 4 * * figures 1,2 * -----	1-14	G01C21/04
A	US 2010/250177 A1 (VAN ACHT VICTOR MARTINUS GERARDUS [NL] ET AL) 30 septembre 2010 (2010-09-30) * alinéa [0007] - alinéa [0019] * * figure 2 * -----	1-14	
A,D	SABATINI A M: "Quaternion-based extended Kalman filter for determining orientation by inertial and magnetic sensing", IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, USA, vol. 53, no. 7, 1 juillet 2006 (2006-07-01), pages 1346-1356, XP002522559, ISSN: 0018-9294, DOI: 10.1109/TBME.2006.875664 * le document en entier * -----	1-14	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
27 janvier 2012		Yosri, Samir	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		.....	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1154915 FA 753230**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **27-01-2012**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2009127561 A1	22-10-2009	EP 2268999 A1	05-01-2011
		FR 2930335 A1	23-10-2009
		US 2011035172 A1	10-02-2011
		WO 2009127561 A1	22-10-2009
-----			
US 2010250177 A1	30-09-2010	CN 101855517 A	06-10-2010
		EP 2210061 A2	28-07-2010
		JP 2011503571 A	27-01-2011
		US 2010250177 A1	30-09-2010
		WO 2009063400 A2	22-05-2009
-----			