



ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL,
PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- *avec rapport de recherche internationale*
- *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues*

(57) Abrégé : L'invention est relative à la surveillance de l'intégrité d'informations de position et de vitesse issues d'une hybridation entre une centrale inertielle et un récepteur de positionnement par satellites. L'invention concerne plus précisément un équipement de navigation connu dans la technique sous le nom de système INS/GNSS (de l'anglo-saxon "Inertial Navigation System" et "Global Navigation Satellite System") hybridé en boucle fermée.

Procédé et dispositif de surveillance de l'intégrité des informations délivrées par un système hybride INS/GNSS

L'invention est relative à la surveillance de l'intégrité d'informations
5 de position et de vitesse issues d'une hybridation entre une centrale inertielle
et un récepteur de positionnement par satellites. L'invention concerne plus
précisément un équipement de navigation connu dans la technique sous le
nom de système INS/GNSS (de l'anglo-saxon "Inertial Navigation System" et
"Global Navigation Satellite System") hybridé en boucle fermée.

10 Une centrale inertielle est constituée d'un ensemble de capteurs
inertiels (capteurs gyrométriques et capteurs accélérométriques) associés à
une électronique de traitement. Une plate-forme de calcul, appelée plate-
forme virtuelle PFV, délivre alors les informations de vitesse et de position du
porteur dans un référentiel précis (souvent noté TGL, Trièdre Géographique
15 Local). La plate-forme virtuelle PFV permet la projection et l'intégration des
données issues des capteurs inertiels. La centrale inertielle fournit des
informations précises à court terme mais dérivant sur le long terme (sous
l'influence des défauts capteurs). La maîtrise des défauts capteurs
représente une proportion très importante du coût de la centrale inertielle.

20 Un récepteur de positionnement par satellites fournit des
informations de position et de vitesse du porteur par triangulation à partir des
signaux émis par des satellites défilants visibles du porteur. Les informations
fournies peuvent être momentanément indisponibles car le récepteur doit
avoir en vue directe un minimum de quatre satellites du système de
25 positionnement pour pouvoir faire un point. Elles sont en outre d'une
précision variable, dépendant de la géométrie de la constellation à la base de
la triangulation, et bruitées car reposant sur la réception de signaux de très
faibles niveaux provenant de satellites éloignés ayant une faible puissance
d'émission. Mais elles ne souffrent pas de dérive à long terme, les positions
30 des satellites défilant sur leurs orbites étant connues avec précision sur le
long terme. Les bruits et les erreurs peuvent être liés aux systèmes
satellites, au récepteur ou à la propagation du signal entre l'émetteur
satellitaire et le récepteur de signaux GNSS. En outre, les données satellites
peuvent être erronées par suite de pannes affectant les satellites. Ces
35 données non intègres doivent alors être repérées pour ne pas fausser la
position issue du récepteur GNSS.

Pour prévenir les pannes satellites et assurer l'intégrité des mesures GNSS, il est connu d'équiper un récepteur de positionnement par satellites d'un système d'estimation de précision et de disponibilité dit RAIM (de l'anglo-saxon "Receiver Autonomous Integrity Monitoring") qui se base sur la géométrie et la redondance de la constellation de satellites utilisée lors de la triangulation et sur l'évolution prévisible à court terme de cette géométrie déduite de la connaissance des trajectoires des satellites. Cependant, l'algorithme RAIM, purement lié au système de localisation par satellites, n'est pas applicable à la surveillance d'un point de localisation issu d'un système hybride (INS/GNSS) et ne peut détecter que certains types de pannes en un temps donné.

L'hybridation consiste à combiner mathématiquement les informations de position et de vitesse fournies par la centrale inertielle et les mesures fournies par le récepteur de positionnement par satellites pour obtenir des informations de position et de vitesse en tirant avantage des deux systèmes. Ainsi, la précision des mesures fournies par le système GNSS permet de maîtriser la dérive inertielle et les mesures inertielles peu bruitées permettent de filtrer le bruit sur les mesures du récepteur GNSS. Cette combinaison fait très souvent appel à la technique de filtrage de Kalman.

Le filtrage de Kalman s'appuie sur les possibilités de modélisation de l'évolution de l'état d'un système physique considéré dans son environnement, au moyen d'une équation dite "d'évolution" (estimation a priori), et de modélisation de la relation de dépendance existant entre les états du système physique considéré et les mesures d'un capteur externe, au moyen d'une équation dite "d'observation" pour permettre un recalage des états du filtre (estimation a posteriori). Dans un filtre de Kalman, la mesure effective ou "vecteur de mesure" permet de réaliser une estimée a posteriori de l'état du système qui est optimale dans le sens où elle minimise la covariance de l'erreur faite sur cette estimation. La partie estimateur du filtre génère des estimées a posteriori du vecteur d'état du système en utilisant l'écart constaté entre le vecteur de mesure effectif et sa prédiction a priori pour engendrer un terme correctif, appelé innovation. Cette innovation, après une multiplication par un vecteur gain du filtre de Kalman, est appliquée à

l'estimée a priori du vecteur d'état du système et conduit à l'obtention de l'estimée optimale a posteriori.

Dans le cas d'un système INS/GNSS hybridé, le filtre de Kalman reçoit les points de position et de vitesse fournis par la centrale inertielle et les mesures de positionnement fournies par le récepteur de positionnement par satellites, modélise l'évolution des erreurs de la centrale inertielle et délivre l'estimée a posteriori de ces erreurs qui sert à corriger le point de positionnement et de vitesse de la centrale inertielle.

L'estimation des erreurs de position et de vitesse dues aux défauts des capteurs inertiels apparaissant en sortie de la plate-forme virtuelle PFV de la centrale inertielle est réalisée par le filtre de Kalman. La correction des erreurs par le biais de leur estimation faite par le filtre de Kalman peut alors se faire en entrée de la plate-forme virtuelle PFV (architecture en boucle fermée) ou en sortie (architecture en boucle ouverte).

Lorsque les défauts des capteurs de la centrale inertielle, gyromètres, accéléromètres, et module barométrique (on parle dans ce cas de centrale baro-inertielle), ne sont pas trop importants, il n'est pas nécessaire d'appliquer les corrections en entrée de la plate-forme virtuelle PFV : la modélisation du système (linéarisation des équations régissant l'évolution du système), au sein du filtre reste valide. L'estimée a posteriori des erreurs de la centrale inertielle calculée dans le filtre de Kalman est utilisée uniquement pour l'élaboration d'estimées optimales de la position et de la vitesse du porteur en retranchant aux informations de position et de vitesse fournies par la centrale inertielle leurs estimées respectives calculées par le filtre de Kalman. L'hybridation est alors dite en boucle ouverte, et dans ce cas, l'hybridation n'a aucune influence sur les calculs réalisés par la plate-forme virtuelle PFV.

Lorsque les défauts inertiels sont trop importants ou lorsque la durée du vol est longue, la linéarisation des équations régissant l'évolution du modèle inertiel intégré au sein du filtre de Kalman n'est plus valide. Il est donc impératif d'appliquer les corrections à la plate-forme virtuelle PFV pour rester dans le domaine linéaire. L'estimée a posteriori des erreurs de la centrale baro-inertielle qui est calculée dans le filtre de Kalman sert non seulement à l'élaboration de l'estimée optimale de la position et de la vitesse du porteur mais aussi au recalage de la centrale inertielle au sein de la plate-

forme virtuelle PFV. L'hybridation est alors dite « en boucle fermée » et les résultats du filtre d'hybridation sont employés par la plate-forme virtuelle pour réaliser ses calculs.

L'hybridation peut également se faire en observant des informations GNSS de natures différentes. Soit on considère la position et la vitesse du porteur résolues par le récepteur GNSS : on parle alors d'hybridation lâche ou hybridation en axes géographiques, soit on considère les informations extraites en amont par le récepteur GNSS que sont les pseudo-distances et les pseudo-vitesses (grandeurs directement issues de la mesure du temps de propagation et de l'effet Doppler des signaux émis par les satellites en direction du récepteur) : on parle alors d'hybridation serrée ou en axes satellites.

Avec un système INS/GNSS en boucle fermée où le point résolu par le récepteur GNSS est utilisé pour recalibrer les informations provenant de la centrale inertielle, il est nécessaire de prêter une attention particulière aux défauts affectant les informations fournies par les satellites car le récepteur qui les reçoit propagera ces défauts à la centrale inertielle en entraînant un mauvais recalage de cette dernière. Le problème se pose de façon particulièrement critique pour assurer l'intégrité d'un point hybride INS/GPS. Dans ce qui suit, on s'intéresse à des systèmes intégrant une hybridation serrée, en boucle fermée.

Pour quantifier l'intégrité d'une mesure de position dans des applications telles que les applications aéronautiques, où l'intégrité est critique, on utilise un paramètre appelé « rayon de protection » de la mesure de position. Le rayon de protection correspond à une erreur de position maximale pour une probabilité donnée d'apparition d'erreur. C'est-à-dire que la probabilité que l'erreur de position dépasse le rayon de protection annoncé sans qu'une alarme soit envoyée à un système de navigation, est inférieure à cette valeur de probabilité donnée. Le calcul se fonde sur deux types d'erreur qui sont d'une part les erreurs normales de mesure et d'autre part les erreurs causées par une anomalie de fonctionnement de la constellation de satellites, soit par exemple une panne d'un satellite.

La valeur du rayon de protection d'un système de positionnement est une valeur clef spécifiée par des donneurs d'ordre désirant acquérir un système de positionnement. L'évaluation de la valeur du rayon de protection

résulte en général de calculs de probabilités utilisant les caractéristiques statistiques de précision des mesures GNSS et du comportement des senseurs inertiels. Ces calculs s'explicitent de façon formelle et permettent des simulations pour l'ensemble des cas de constellation GNSS, pour
5 l'ensemble des positions possibles du système de positionnement sur le globe terrestre et pour l'ensemble de trajectoires possibles suivies par le système de positionnement. Les résultats de ces simulations permettent de fournir au donneur d'ordre des caractéristiques de rayon de protection garanties par le système de positionnement proposé. Le plus souvent ces
10 caractéristiques s'expriment sous la forme d'une valeur du rayon de protection pour une disponibilité de 100% ou d'une durée d'indisponibilité pour une valeur requise du rayon de protection.

La présente invention pallie les inconvénients des solutions
15 connues présentées ci-dessus. Elle a pour but d'améliorer la précision de la mesure de position en utilisant des corrections hybrides délivrées par un filtre de Kalman recevant des signaux de tous les satellites visibles poursuivis. Elle a également pour objectif de fournir une expression formelle permettant le calcul de la valeur du rayon de protection, en tout lieu pour une trajectoire
20 quelconque et à n'importe quel instant.

A cet effet, l'invention a pour objet un système hybride comportant :

- un module barométrique BARO, 30 délivrant des mesures d'altitude barométrique MBA ;
- 25 - une unité de mesure inertielle UMI , 20 délivrant des incréments d'angle $\Delta\theta$ et des incréments de vitesse ΔV ;
- une plate-forme virtuelle PFV, 60 recevant les incréments d'angle $\Delta\theta$, les incréments de vitesse ΔV , et produisant des points de positionnement et de vitesse inertiels PPVI constituant respectivement une
30 position hybride et une vitesse hybride ;
- un récepteur de positionnement par satellites GNSS, 10 opérant à partir d'une constellation de N satellites visibles poursuivis, et produisant des mesures brutes, MB_i des signaux émis par ces satellites, i désignant un indice de satellite et étant compris entre 1 et N ;

- un filtre de Kalman d'hybridation MKF, 40 recevant les points de positionnement et de vitesse inertiels PPVI, les mesures d'altitude barométrique MBA, et les mesures brutes MB_i des signaux émis par les N satellites, ledit filtre délivrant :
 - 5 estimation d'un vecteur d'état VE correspondant aux erreurs du système hybride, obtenue en observant les écarts entre les points de positionnement et de vitesse inertiels PPVI et les mesures brutes MB_i , et
 - une matrice de variance/covariance, MHYP de l'erreur faite sur l'estimation du vecteur d'état VE ;
- 10 - un banc de N filtres secondaires KSF_i , 50_i recevant chacun les points de positionnement et de vitesse inertiels PPVI, les mesures d'altitude barométrique MBA, et les mesures brutes MB_i des signaux émis par les satellites poursuivis sauf le satellite d'indice i, lesdits filtres secondaires KSF_i délivrant des paramètres hybrides $SHYP_i$ comportant :
 - 15 - une estimation d'un vecteur d'état, EVE_i correspondant aux erreurs du système hybride, calculé en observant des écarts entre les points de positionnement et de vitesse inertiels PPVI et les mesures brutes des signaux émis par les satellites poursuivis sauf le satellite i SPP_i , et
 - 20 - une matrice de variance/covariance secondaire P_i de l'erreur faite sur l'estimation du vecteur d'état EVE_i ;
 - un module de calcul CAL, 70 recevant les paramètres hybrides $SHYP_i$ et la matrice de variance/covariance, MHYP, ledit module de calcul CAL, 70 déterminant un rayon de protection horizontal R_T associé à la
 - 25 position hybride, et lorsque des composantes de l'estimation du vecteur d'état EVE_i concernant la position sont supérieure à un seuil de détection TH_i , déclenchant une alarme sur une défaillance d'un filtre secondaire KSF_i , et identifiant éventuellement un satellite défaillant parmi les N satellites visibles poursuivis,
 - 30 caractérisé en ce que les filtres secondaires KSF_i et la plate-forme virtuelle PFV reçoivent en outre la correction hybride HYC.

L'invention concerne également un procédé de surveillance d'intégrité de positions hybrides délivrées par une plate-forme virtuelle PFV, 60 d'un système hybride selon une des revendications précédentes, ledit procédé déterminant un rayon de protection horizontal RP_T , ledit procédé

35

étant mis en œuvre par le module de calcul CAL, 70 du système hybride la détermination du rayon de protection horizontal RP_T comportant les étapes de calcul :

- détermination d'un rayon de protection horizontal auxiliaire RP_{H1} ,
5 sous une hypothèse dite H_1 , qu'une des mesures brutes, MB_i est erronée,
- détermination d'un rayon de protection horizontal auxiliaire RP_{H0} ,
sous une hypothèse dite H_0 , qu'aucune des mesures brutes, MB_i est erronée ;
- détermination du rayon de protection horizontal RP_T comme un
10 maximum des rayons de protection auxiliaires horizontaux RP_{H0} et RP_{H1} .
caractérisé en ce que :

la détermination des rayons de protection horizontaux auxiliaires RP_{H0} et RP_{H1} est fondée sur une détermination d'un rayon d'un cercle enveloppant une ellipse de confiance dans un plan horizontal, et en ce que
15 l'ellipse de confiance est déterminée à partir d'une matrice de variance/covariance et d'une valeur de probabilité recherchée.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, faite à titre d'exemple non
20 limitatif et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement un système hybride, en boucle fermée et hybridation serrée, selon l'état de l'art ;
- la figure 2 représente schématiquement un système hybride en
25 boucle fermée et hybridation serrée, selon l'invention ;
- la figure 3 représente une ellipse de confiance et un cercle enveloppant l'ellipse, le rayon du cercle est employé dans le procédé de surveillance de l'intégrité d'informations selon l'invention ;

D'une figure à l'autre, les mêmes éléments sont repérés par les mêmes références.

30

La figure 1 représente un système hybride selon l'art antérieur. Le système hybride, comporte ;

- un récepteur de positionnement par satellites, GNSS, 10,
recevant des signaux d'une constellation de N satellites visibles poursuivis ;

- une unité de mesure inertielle UMI, 20 délivrant des incréments d'angle $\Delta\theta$ et des incréments de vitesse ΔV ;

- un module barométrique BARO, 30, délivrant des mesures d'altitude barométrique MBA ;

5 - un filtre de Kalman d'hybridation, MKF 40 ;

- un banc de N filtres secondaires, KSF_i 50i,

- une plate-forme virtuelle, PFV, 60 recevant les incréments d'angle $\Delta\theta$ et les incréments de vitesse ΔV ;

- un module de calcul CAL, 70.

10 L'unité de mesure inertielle, UMI comporte des gyromètres et des accéléromètres non représentés : les incréments d'angle $\Delta\theta$ sont délivrés par les gyromètres et les incréments de vitesse ΔV sont délivrés par les accéléromètres.

La plate-forme virtuelle, PFV reçoit les mesures d'altitude barométrique, MBA. La plate-forme virtuelle, PFV produit des points de positionnement et de vitesse inertiels, PPVI constituant respectivement une position hybride et une vitesse hybride. Les mesures d'altitude barométriques qui sont employées par la plate-forme, PFV pour éviter une dérive de la position hybride suivant un axe vertical.

20 Le récepteur de positionnement par satellites, GNSS délivre des mesures brutes, MB_i de signaux émis par les satellites, i désignant un indice de satellite et étant compris entre 1 et N.

Le filtre de Kalman d'hybridation, MKF reçoit un ensemble de N mesures brutes, MB_i . Cet ensemble de N mesures brutes est noté MPPV.

25 Le filtre de Kalman secondaire KSF_i reçoit les mesures brutes MB_i de N-1 signaux. Les N-1 signaux sont produits par les satellites poursuivis sauf le satellite d'indice i. Cet ensemble de mesures brutes MB_i de N-1 signaux est noté SPP_i .

30 Le filtre d'hybridation MKF et les filtres secondaires KSF_i et reçoivent les points de positionnement et de vitesse inertiels PPVI.

Le filtre d'hybridation MKF cherche à estimer les erreurs réalisées sur les positions inertielles PPVI, il produit :

35 - un vecteur d'état VE correspondant aux erreurs du système hybride, obtenue en observant les écarts entre les points de positionnement et de vitesse inertiels PPVI et les mesures brutes MB_i correspondantes ;

- une matrice de variance/covariance, MHYP de l'erreur faite sur l'estimation du vecteur d'état VE.

Les filtres secondaires KSF_i produisent des paramètres hybrides $SHYP_i$ qui comportent :

5 - une estimation d'un vecteur d'état, EVE_i correspondant aux erreurs du système hybride observant des écarts entre les points de positionnement et de vitesse inertiels PPVI et l'ensemble de mesures brutes SPP_i et,

10 - une matrice de variance/covariance secondaire P_i de l'erreur faite sur l'estimation du vecteur d'état EVE_i .

Le système hybride délivre une sortie hybride SH composée d'une différence entre les positions inertielles PPVI et le vecteur d'état VE.

Le module de calcul CAL reçoit les paramètres hybrides $SHYP_i$ et la matrice de variance/covariance, MHYP et détermine une valeur de rayon de protection RP_T .

15 On l'a déjà évoqué, un rayon de protection est une mesure très importante dans certaines applications où il est indispensable d'assurer l'intégrité des données. On rappelle que le rayon de protection RP d'une mesure, pour une probabilité de non-intégrité prédéterminée P_{ni} , est une
20 borne supérieure de l'écart entre la valeur calculée et la valeur réelle de la grandeur mesurée, telle qu'on a une probabilité inférieure à P_{ni} que la valeur réelle soit éloignée de la valeur calculée d'une distance supérieure à RP sans que l'on déclenche une alarme vers un système de navigation. Autrement dit, il y a donc une probabilité maximale P_{ni} pour que la valeur
25 réelle soit en dehors d'un cercle de rayon RP autour de la valeur qu'on a mesurée ou encore qu'il y a une probabilité maximale P_{ni} de se tromper dans la détermination du rayon de protection

30 Ce rayon de protection est calculé à partir des écarts-types des variables considérées. Il s'applique à chaque composante du vecteur d'état, mais en pratique, on s'intéresse aux variables de position. On peut calculer plus spécifiquement un rayon de protection vertical pour l'altitude et un rayon de protection horizontal pour la position en longitude et latitude, ces rayons n'ayant pas forcément la même valeur et n'étant pas utilisés de la même manière.

Le principe du calcul du rayon de protection horizontal est présenté dans ce qui suit :

Le rayon de protection est en général une donnée qui est calculée puis comparée à un seuil HAL fixé en fonction de l'application, le
5 dépassement du seuil génère une alerte indiquant soit que la mesure de position ne peut pas être considérée comme suffisamment fiable ou disponible dans le contexte de l'application

Avantageusement, le module de calcul, CAL identifie le satellite d'indice i comme défaillant, le filtre secondaire KSF_i est substitué au filtre de
10 d'hybridation MKF.

On évalue le rayon de protection RP_{H0} en l'absence de panne de satellite, hypothèse communément désignée H_0 . Par "panne" on entend une situation anormale où le satellite émet des signaux qui ont l'apparence de signaux normaux mais qui sont anormaux et conduisent à des erreurs de
15 position.

Le rayon de protection RP_{H0} est lié directement à la variance de la grandeur mesurée et à la probabilité P_{ni} que cette erreur dépasse le rayon de protection. La variance est le carré de l'écart type σ lié à la grandeur mesurée. La variance de la position mesurée est donc le coefficient de la
20 diagonale de la matrice de variance/covariance P qui correspond à la grandeur mesurée. L'écart type σ est la racine carrée de cette variance et se déduit donc de la matrice P du filtre d'hybridation.

Dans le système hybride selon l'art antérieur, on calcule le rayon de protection RP_{H0} à partir des coefficients de la matrice de
25 variance/covariance P tels qu'ils apparaissent à l'instant de mesure. Si la configuration des satellites évolue, la valeur du rayon de protection RP_{H0} est mise à jour en même temps. Si un satellite disparaît de la constellation visible, le rayon de protection RP_{H0} ne se dégrade que progressivement. Si au contraire un satellite nouveau apparaît, le rayon de protection diminue
30 instantanément, ce qui est très avantageux.

On peut également calculer un rayon de protection RP_{H1} prenant en compte le risque de panne d'un satellite, hypothèse communément désignée H_1 . Le récepteur utilise pour cela la méthode bien connue sous le nom de « maximum de séparation » : Dans ce cas, le récepteur comporte un
35 filtre de Kalman d'hybridation MKF qui fonctionne comme on l'a décrit

précédemment et N filtres secondaires, si N est le nombre de satellites pouvant être vus en même temps. Les N filtres secondaires fonctionnent en parallèle avec le filtre Kalman d'hybridation MKF et suivant le même principe que ce dernier. Mais le filtre secondaire de rang i reçoit les signaux de tous
5 les satellites sauf celui provenant du satellite de rang i.

La figure 2 représente un système hybride en boucle fermée et hybridation serrée, selon l'invention.

Une première différence avec le système hybride de l'art antérieur concerne la prise en compte des mesures barométriques MBA par le
10 système hybride et le fait que la sortie hybride du système est égale aux positions inertielles PPVI délivrées par la plate-forme virtuelle, PFV.

Selon l'invention, les mesures barométriques MBA sont reçues par le filtre d'hybridation d'une part, et par les filtres secondaires KSF_i .

Ainsi, un asservissement de la position suivant un vertical est
15 directement réalisé par le filtre de Kalman : il n'est pas besoin de développer un asservissement indépendant du filtre de Kalman comme cela est le cas dans l'art antérieur.

Une deuxième différence avec le système hybride de l'art antérieur, concerne la production par le filtre d'hybridation MKF d'une
20 correction hybride HYC qui comporte une estimation du vecteur d'état VE. La correction hybride HYC est délivrée d'une part à la plateforme virtuelle, et d'autre part aux filtres secondaires SKF_i . De sorte que, les points de positionnement et de vitesse inertiels PPVI produits par la plate-forme PFV constituent directement la position hybride et la vitesse hybride, et que la
25 valeur des composantes des vecteurs d'états EV et EVE_i sont proches de zéro.

Une troisième différence concerne le procédé de calcul du rayon de protection par le module de calcul CAL. Le principe du calcul est basé sur une évaluation d'une ellipse de confiance.

30 Considérons X1 et X2 deux variables gaussiennes à moyenne nulle, d'écart type respectifs σ_1 et σ_2 et de coefficient de corrélation ρ . Par exemple, X1 et X2 correspondent à des erreurs de position exprimées en latitude et longitude. Un domaine du plan X1, X2 correspondant à une valeur de densité de probabilité conjointe de X1 et X2 constante et égale à R0 est
35 une ellipse d'équation :

$$\frac{X_1^2}{\sigma_1^2} - 2 \frac{\rho X_1 X_2}{\sigma_1 \sigma_2} + \frac{X_2^2}{\sigma_2^2} = R0^2$$

Si on veut que l'aire de l'ellipse corresponde à une probabilité Pb c'est à dire que l'on veut obtenir une probabilité Pb que l'erreur de position soit à l'intérieur de l'ellipse, il faut imposer la relation :

5 $R0 = \sqrt{-2.(1-\rho).Ln(1-Pb)}$

Lorsque X1 et X2 correspondent à des erreurs de position horizontale déterminée, par exemple par hybridation de mesures de signaux produits par une constellation de satellites et les données d'une centrale inertielle, une ellipse de confiance est parfaitement définie dès que l'on fixe
 10 une valeur de probabilité recherchée Pb et que l'on connaît une matrice de variance/covariance de dimension 2*2 associée à X1 et X2. En effet si P est une matrice de variance/covariance liant ces deux variables, σ_1 et σ_2 sont les coefficients diagonaux de la matrice P et ρ est égal à son coefficient non diagonal.

15 La figure 3 représente une ellipse de confiance employée dans le procédé de calcul du rayon de protection.

Un cercle de rayon R tel que $R^2 = A^2 + B^2$ définit une enveloppe de l'ellipse de confiance à condition que :

20 $A = \alpha . \sigma_1$
 $B = \alpha . \sigma_2 . \rho$
 $\alpha = \sqrt{-2.Ln(1-Pb)}$

On peut donc déterminer une valeur de rayon de protection pour deux variables, par exemple des positions hybrides, à partir des expressions déterministes précédentes dès que l'on connaît les valeurs de probabilité Pb
 25 recherchée et la matrice de variance/covariance de dimension 2 x 2 correspondant à ces variables.

Avantageusement, la détermination du rayon de protection horizontal auxiliaire RP_{H1} est fondée sur une valeur de probabilité de fausse alarme souhaitée τ_1 et sur une valeur de probabilité de détection manquée
 30 souhaitée τ_2 .

Avantageusement, la détermination du rayon de protection horizontal auxiliaire RP_{H0} est fondée sur une valeur de probabilité de détection manquée souhaitée τ_2 et sur une valeur de probabilité d'occurrence d'un défaut satellite non détecté τ_3 .

Avantageusement, une matrice PE_i de variance/covariance, de dimension 2×2 , étant extraite d'une matrice auxiliaire $PS_i = P_i - MHYP$, les axes extraits de la matrice PS_i correspondant aux positions horizontales, caractérisé en ce que la détermination du rayon de protection horizontal

- 5 auxiliaire RP_{H1} sous l'hypothèse H_1 , comporte les étapes :
- Déterminer $P01 = 1 - \tau_1/N$;
 - Déterminer une valeur de seuil de test TH_i en se fondant sur la valeur $P01$ et sur la matrice PE_i ;
 - 10 - Déterminer $P02 = 1 - \tau_2$;
 - Déterminer une valeur de rayon de protection auxiliaire d_i comme égale au rayon du cercle enveloppant une ellipse déterminée à partir de la matrice PE_i et de la probabilité $P02$;
 - Déterminer la valeur de rayon RP_{H1} comme une valeur maximale
 - 15 de $(TH_i + d_i)$, pour toutes les valeurs de i entre 1 et N .

Avantageusement, une matrice P de variance/covariance de dimension 2×2 étant extraite de la matrice de variance/covariance $MHYP$, les axes extraits de la matrice $MHYP$ correspondant aux positions horizontales, caractérisé en ce que la détermination du rayon de protection horizontal

- 20 auxiliaire RP_{H0} sous l'hypothèse H_0 , comporte les étapes :
- Déterminer $P03 = 1 - \tau_2 \cdot \tau_3$;
 - Déterminer la valeur de rayon RP_{H0} comme égale au rayon du cercle enveloppant une ellipse déterminée à partir de la matrice P et de la probabilité $P03$.

REVENDEICATIONS

1. Système hybride comportant :
 - un module barométrique BARO, (30) délivrant des mesures d'altitude barométrique MBA ;
 - une unité de mesure inertielle UMI (20) délivrant des incréments
5 d'angle $\Delta\theta$ et des incréments de vitesse ΔV ;
 - une plate-forme virtuelle PFV (60) recevant les incréments d'angle $\Delta\theta$, les incréments de vitesse ΔV et produisant des points de positionnement et de vitesse inertiels PPVI constituant respectivement une position hybride et une vitesse hybride ;
 - 10 - un récepteur de positionnement par satellites GNSS (10) opérant à partir d'une constellation de N satellites visibles poursuivis, et produisant des mesures brutes, MB_i des signaux émis par ces satellites, i désignant un indice de satellite et étant compris entre 1 et N ;
 - un filtre de Kalman d'hybridation MKF (40) recevant les points de
15 positionnement et de vitesse inertiels PPVI, les mesures d'altitude barométrique MBA, et les mesures brutes MB_i des signaux émis par les N satellites, ledit filtre délivrant :
 - une correction hybride HYC comportant une estimation d'un vecteur d'état VE correspondant aux erreurs du système hybride, obtenue en
20 observant les écarts entre les points de positionnement et de vitesse inertiels PPVI et les mesures brutes MB_i , et
 - une matrice de variance/covariance, MHYP de l'erreur faite sur l'estimation du vecteur d'état VE ;
 - un banc de N filtres secondaires KSF_i (50_i) recevant chacun les
25 points de positionnement et de vitesse inertiels PPVI, les mesures d'altitude barométrique MBA, et les mesures brutes MB_i des signaux émis par les satellites poursuivis sauf le satellite d'indice i, lesdits filtres secondaires KSF_i délivrant des paramètres hybrides $SHYP_i$ comportant
 - une estimation d'un vecteur d'états, EVE_i correspondant aux
30 erreurs du système hybride, calculé en observant des écarts entre les points de positionnement et de vitesse inertiels PPVI et les mesures brutes des signaux émis par les satellites poursuivis sauf le satellite i SPP_i , et
 - une matrice de variance/covariance secondaire P_i de l'erreur faite sur l'estimation du vecteur d'état EVE_i ;

- un module de calcul CAL (70) recevant les paramètres hybrides SHYP_i et la matrice de variance/covariance, MHYP, ledit module de calcul CAL déterminant un rayon de protection horizontal R_T associé à la position hybride, et lorsque des composantes de l'estimation du vecteur d'état EVE_i concernant la position sont supérieure à un seuil de détection TH_i, déclenchant une alarme sur une défaillance d'un filtre secondaire KSF_i, et identifiant éventuellement un satellite défaillant parmi les N satellites visibles poursuivis,

caractérisé en ce que les filtres secondaires KSF_i et la plate-forme virtuelle PFV reçoivent en outre la correction hybride HYC.

2. Système selon la revendication 1,0 caractérisé en ce que lorsque le module de calcul CAL (70) identifie le satellite d'indice i comme défaillant, le filtre secondaire KSF_i (50_i) est substitué au filtre de Kalman MKF (40).

15

3. Procédé de surveillance d'intégrité de positions hybrides délivrées par une plate-forme virtuelle PFV (60) d'un système hybride selon une des revendications précédentes, ledit procédé déterminant un rayon de protection horizontal RP_T, ledit procédé étant mis en œuvre par le module de calcul CAL (70) du système hybride la détermination du rayon de protection horizontal RP_T comportant les étapes de calcul :

- détermination d'un rayon de protection horizontal auxiliaire RP_{H1}, sous une hypothèse dite H₁, qu'une des mesures brutes, MB_i est erronée,
- détermination d'un rayon de protection horizontal auxiliaire RP_{H0}, sous une hypothèse dite H₀, qu'aucune des mesures brutes, MB_i est erronée ;

- détermination du rayon de protection horizontal RP_T comme un maximum des rayons de protection auxiliaires horizontaux RP_{H0} et RP_{H1}. caractérisé en ce que :

la détermination des rayons de protection horizontaux auxiliaires RP_{H0} et RP_{H1} est fondée sur une détermination d'un rayon d'un cercle enveloppant une ellipse de confiance dans un plan horizontal, et en ce que l'ellipse de confiance est déterminée à partir d'une matrice de variance/covariance et d'une valeur de probabilité recherchée.

35

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la détermination du rayon de protection horizontal auxiliaire RP_{H1} est fondée sur une valeur de probabilité de fausse alarme souhaitée τ_1 et sur une valeur de probabilité de détection manquée souhaitée τ_2 .

5

5. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la détermination du rayon de protection horizontal auxiliaire RP_{H0} est fondée sur une valeur de probabilité de détection manquée souhaitée τ_2 et sur une valeur de probabilité d'occurrence d'un défaut satellite non détecté τ_3 .

10

6. Procédé selon la revendication 4, une matrice PE_i de variance/covariance, de dimension 2×2 , étant extraite d'une matrice auxiliaire $PS_i = P_i - MHYP$, les axes extraits de la matrice PS_i correspondant aux positions horizontales, caractérisé en ce que la détermination du rayon de protection horizontal auxiliaire RP_{H1} sous l'hypothèse H_1 , comporte les étapes :

- Déterminer $P01 = 1 - \tau_1/N$;
- Déterminer une valeur de seuil de test TH_i en se fondant sur la valeur $P01$ et sur la matrice PE_i ;
- Déterminer $P02 = 1 - \tau_2$;
- Déterminer une valeur de rayon de protection auxiliaire d_i comme égale au rayon du cercle enveloppant une ellipse déterminée à partir de la matrice PE_i et de la probabilité $P02$;
- Déterminer la valeur de rayon RP_{H0} comme une valeur maximale de $(TH_i + d_i)$, pour toutes les valeurs de i entre 1 et N .

25

7. Procédé selon la revendication 5, une matrice P de variance/covariance de dimension 2×2 étant extraite de la matrice de variance/covariance $MHYP$, les axes extraits de la matrice $MHYP$ correspondant aux positions horizontales, caractérisé en ce que la détermination du rayon de protection horizontal auxiliaire RP_{H0} sous l'hypothèse H_0 , comporte les étapes :

30

- Déterminer $P03 = 1 - \tau_2 \cdot \tau_3$;

- Déterminer la valeur de rayon RP_{H0} comme égale au rayon du cercle enveloppant une ellipse déterminée à partir de la matrice P et de la probabilité P03.

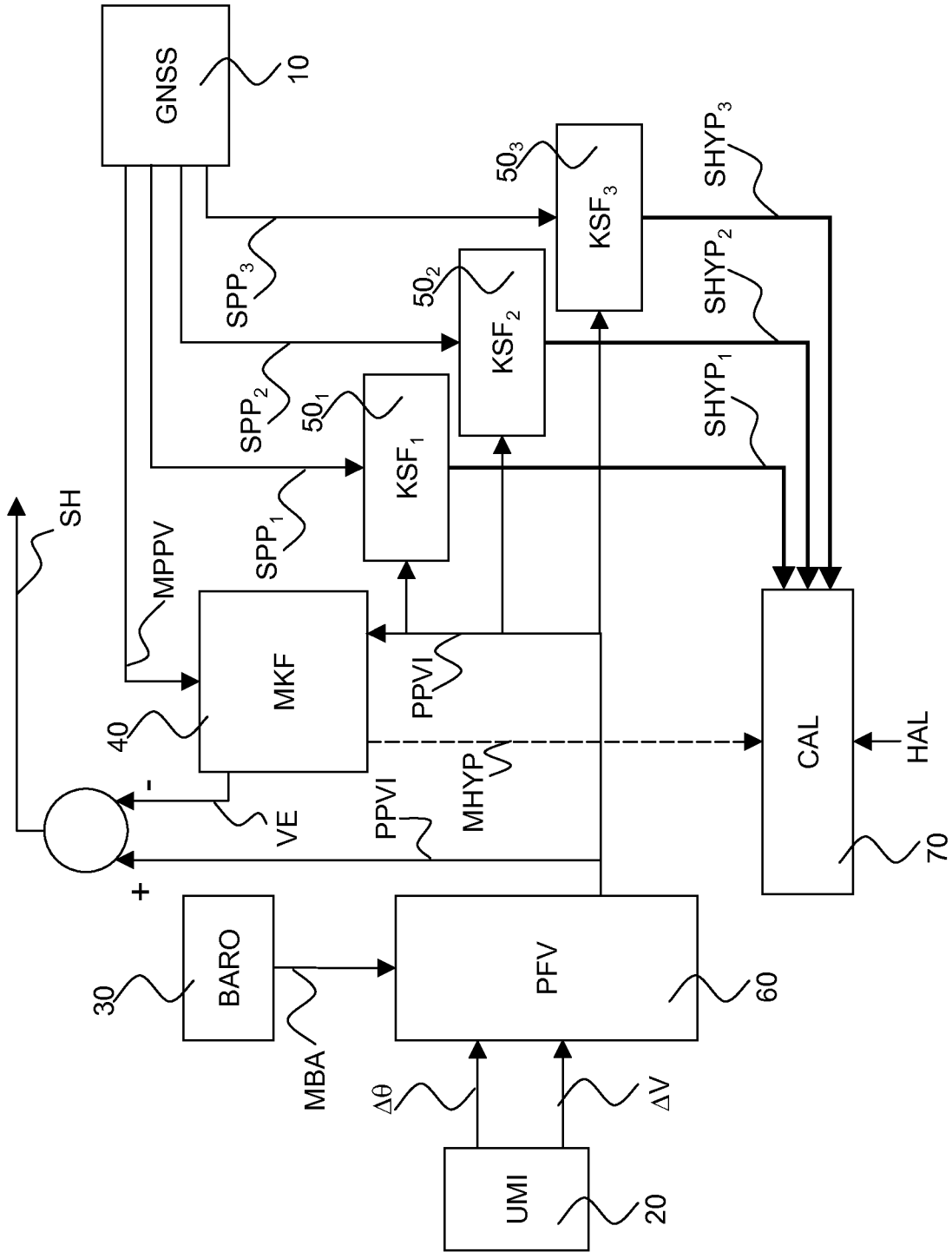


Fig. 1

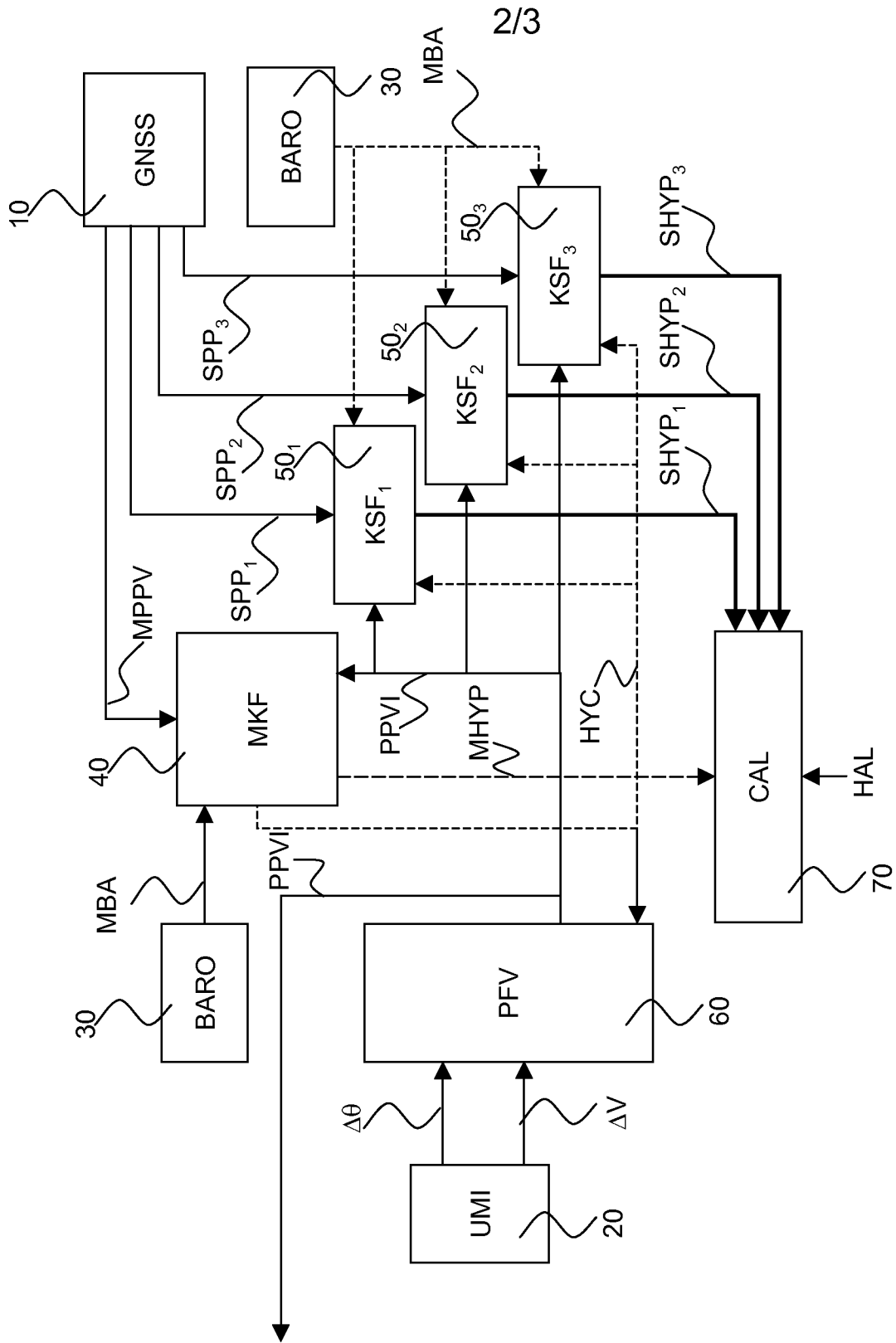


Fig. 2

$$\frac{X_1^2}{\sigma_1^2} - 2 \frac{\rho X_1 X_2}{\sigma_1 \sigma_2} + \frac{X_2^2}{\sigma_2^2} = R0^2$$

$$R0 = \sqrt{-2 \cdot (1 - \rho) \cdot \text{Ln}(1 - Pb)}$$

$$A = \alpha \cdot \sigma_1$$

$$B = \alpha \cdot \sigma_2 \cdot \rho$$

$$\alpha = \sqrt{-2 \cdot \text{Ln}(1 - Pb)}$$

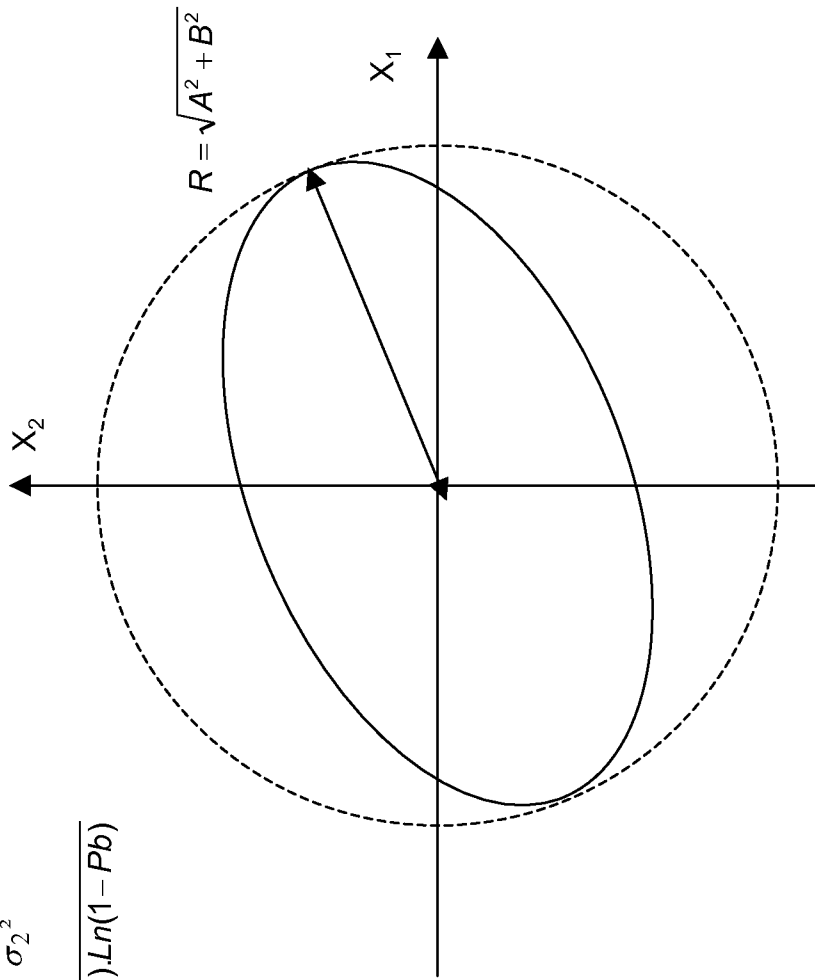


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/060139

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01S5/14

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)
G01S 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, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CALL C ET AL: "Performance of Honeywell's Inertial/GPS Hybrid (HIGH) for RNP Operations" POSITION, LOCATION, AND NAVIGATION SYMPOSIUM, 2006 IEEE/ION CORONADO, CA APRIL 25-27, 2006, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 25 April 2006 (2006-04-25), page 244, XP010924866 ISBN: 0-7803-9454-2 abstract figures 2-4 page 245 - page 247	1-7
A	FR 2 866 423 A1 (THALES [FR]) 19 August 2005 (2005-08-19) abstract; figures 3,4 page 3, line 14 - page 5, line 27 ----- -/--	1-7

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

17 janvier 2008

Date of mailing of the international search report

01/02/2008

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Vial, Antoine

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/060139

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	BRENNER M: "Integrated GPS/Inertial Fault Detection Availability" NAVIGATION, INSTITUTE OF NAVIGATION, WASHINGTON, DC, US, vol. 43, no. 2, 1996, pages 111-130, XP002433665 ISSN: 0028-1522 the whole document -----	3-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/060139

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2866423	A1	19-08-2005	CA 2545870 A1 22-09-2005
			EP 1714166 A1 25-10-2006
			WO 2005088337 A1 22-09-2005
			US 2007156338 A1 05-07-2007

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2007/060139

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G01S5/14

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)
G01S 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, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	CALL C ET AL: "Performance of Honeywell's Inertial/GPS Hybrid (HIGH) for RNP Operations" POSITION, LOCATION, AND NAVIGATION SYMPOSIUM, 2006 IEEE/ION CORONADO, CA APRIL 25-27, 2006, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 25 avril 2006 (2006-04-25), page 244, XP010924866 ISBN: 0-7803-9454-2 abrégé figures 2-4 page 245 - page 247	1-7
A	FR 2 866 423 A1 (THALES [FR]) 19 août 2005 (2005-08-19) abrégé; figures 3,4 page 3, ligne 14 - page 5, ligne 27 ----- -/--	1-7

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

17 janvier 2008

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

01/02/2008

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, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Vial, Antoine

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>BRENNER M: "Integrated GPS/Inertial Fault Detection Availability" NAVIGATION, INSTITUTE OF NAVIGATION, WASHINGTON, DC, US, vol. 43, no. 2, 1996, pages 111-130, XP002433665 ISSN: 0028-1522 le document en entier -----</p>	3-7

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2007/060139

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2866423	A1	CA 2545870 A1	22-09-2005
		EP 1714166 A1	25-10-2006
		WO 2005088337 A1	22-09-2005
		US 2007156338 A1	05-07-2007
