

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

3 065 083

②1 N° d'enregistrement national : 17 00369

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : G 01 S 19/02 (2017.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 05.04.17.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 12.10.18 Bulletin 18/41.

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 :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : THALES Société anonyme — FR.

⑦2 Inventeur(s) : BARTOLONE PATRICK et BOUVET DENIS.

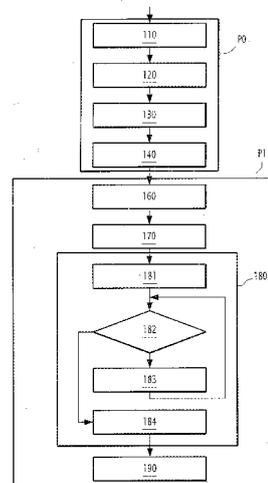
⑦3 Titulaire(s) : THALES Société anonyme.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET LAVOIX Société par actions simplifiée.

⑤4 PROCÉDE DE DÉTERMINATION DE NIVEAUX DE PROTECTION DE SOLUTIONS DE NAVIGATION, PRODUIT PROGRAMME D'ORDINATEUR ET RECEPTEUR ASSOCIÉS.

⑤7 Ce procédé de détermination de niveaux de protection comprend une phase préliminaire ( $P_0$ ) mise en oeuvre au moins une fois et une phase principale ( $P_1$ ) mise en oeuvre à la détermination de chaque nouvelle solution de navigation.

La phase préliminaire ( $P_0$ ) comprenant les étapes d'acquisition (110) d'une première valeur d'erreur, de fourniture (120) d'un ensemble de nombres de pannes surveillées, de détermination (130) d'une pluralité de coefficients de calcul, et de stockage (140) de l'ensemble des coefficients de calcul déterminés. La phase principale ( $P_1$ ) comporte les étapes de détermination (160) d'un nombre courant de pannes surveillées, et de détermination (180) d'un niveau de protection de la solution de navigation correspondante en utilisant une relation d'intégrité et les coefficients de calcul déterminés lors de la phase préliminaire ( $P_0$ ).



FR 3 065 083 - A1



**Procédé de détermination de niveaux de protection de solutions de navigation,  
produit programme d'ordinateur et récepteur associés**

La présente invention concerne un procédé de détermination de niveaux de protection de solutions de navigation.

La présente invention concerne également un produit programme d'ordinateur et un récepteur associés à ce procédé.

De manière connue en soi, une solution de navigation est déterminée par un récepteur mobile à partir des signaux électromagnétiques émis par des satellites d'un ou de plusieurs systèmes globaux de positionnement par satellites. Un tel système, dit également constellation, est connu sous le sigle anglais GNSS (pour « *Global Navigation Satellite System* »).

Il existe actuellement plusieurs systèmes GNSS parmi lesquels on peut notamment citer le système GPS, le système GLONASS et le système GALILEO.

Chaque solution de navigation comprend généralement la position géographique du récepteur mobile, sa vitesse ainsi que le temps synchronisé avec le système GNSS correspondant.

Dans le cadre des applications utilisant les solutions de navigation pour des opérations sensibles, comme par exemple la navigation aéronautique ou maritime, il est nécessaire d'associer à chaque solution de navigation déterminée, un niveau de protection caractérisant la fiabilité de cette solution de navigation.

Un tel niveau de protection est déterminé en fonction notamment de la probabilité de fourniture d'une solution de navigation dont le taux d'erreur n'excède pas un seuil d'intégrité annoncé (connue également sous le terme anglais « *Hazardous Misleading Information* ») et de la probabilité de fausse alerte.

Ce niveau de protection est déterminé en outre en utilisant des informations redondantes relatives à la solution de navigation correspondante. Ces informations redondantes sont déterminées notamment à partir des signaux électromagnétiques émis par des satellites visibles par le récepteur lorsque le nombre de ces satellites dépasse le nombre des satellites nécessaire pour déterminer une seule solution de navigation.

Différentes méthodes permettant de déterminer des niveaux de protection associés aux solutions de navigation fournies, sont déjà connues dans l'état de la technique.

Parmi ces méthodes, la méthode dite RAIM (de l'anglais « *Receiver Autonomous Integrity Monitoring* ») permet de déterminer des niveaux de protection à partir des

informations redondantes obtenues des satellites visibles d'une seule constellation en se basant sur la probabilité de panne de chacun des satellites de cette constellation.

On connaît également une version améliorée de cette méthode, dite ARAIM (de l'anglais « *Adanced Receiver Autonomous Integrity Monitoring* ») qui permet de déterminer des niveaux de protection à partir des informations redondantes obtenues des satellites visibles de plusieurs constellations. Par rapport à la méthode RAIM, cette version améliorée permet une plus grande disponibilité des récepteurs aéronautiques, notamment dans les phases d'approche.

Pour ce faire, la version améliorée prend en compte non seulement les probabilités de pannes simples des satellites de chaque constellation mais également les probabilités de pannes affectant plusieurs satellites simultanément. Pour déterminer les niveaux de protection correspondants, cette méthode utilise une relation d'intégrité reliant les probabilités de fournir une solution de navigation erronée et de lever une fausse alerte au niveau de protection correspondant.

Toutefois, étant donné que la relation d'intégrité n'a pas de solution analytique et comporte des fonctions mathématiques couteuses à approcher numériquement, la mise en œuvre de cette méthode améliorée demande du récepteur de grandes capacités de calcul. En effet, pour déterminer les niveaux de protection en temps réel, il est nécessaire de résoudre numériquement la relation d'intégrité pour chacune des solutions de navigation fournie. Ceci rend alors difficile, voire impossible en temps réel, la mise en œuvre de cette méthode dans des récepteurs ayant des capacités de calcul limitées.

La présente invention a pour but de proposer un procédé de détermination de niveaux de protection de solutions de navigation qui peut être mis en œuvre par un récepteur ayant des capacités de calcul relativement limitées et ceci en temps réel et dans un contexte multi-constellation.

À cet effet, l'invention a pour objet un procédé de détermination de niveaux de protection de solutions de navigation, chaque solution de navigation étant déterminée à partir des signaux électromagnétiques émis par des satellites d'un ou de plusieurs systèmes globaux de positionnement par satellites, dits constellation.

Le procédé comprend une phase préliminaire et une phase principale, la phase préliminaire étant mise en œuvre au moins une fois avant la phase principale, la phase principale étant mise en œuvre à la détermination de chaque nouvelle solution de navigation.

La phase préliminaire comprend les étapes suivantes :

- pour chaque dimension prédéterminée, acquisition d'une première valeur d'erreur correspondant à la probabilité de fourniture d'une solution de navigation dont le

taux d'erreur n'excède pas un seuil d'intégrité prédéterminé selon cette dimension et d'une deuxième valeur d'erreur correspondant à la probabilité de détermination d'une fausse alerte selon cette dimension ;

- fourniture d'un ensemble de nombres de pannes surveillées ;

5 - pour chaque nombre de pannes surveillées et pour chaque dimension prédéterminée, détermination d'une pluralité de coefficients de calcul, chaque coefficient de calcul étant déterminé en utilisant la fonction inverse de la fonction de répartition de la loi gaussienne, la fonction inverse étant calculée dans un point déterminé en fonction de la deuxième valeur d'erreur correspondant à cette dimension et du nombre de pannes  
10 surveillées correspondant et/ou de la première valeur d'erreur correspondant à cette dimension ;

- stockage de l'ensemble des coefficients de calcul déterminés.

La phase principale comprend les étapes suivantes :

15 - détermination d'un nombre courant de pannes surveillées en fonction du nombre de constellations utilisées et du nombre des satellites visibles dans chacune de ces constellations ;

20 - détermination d'un niveau de protection de la solution de navigation correspondante selon une dimension donnée en utilisant une relation d'intégrité et les coefficients de calcul déterminés lors de la phase préliminaire pour le nombre courant de pannes surveillées et pour cette dimension, la relation d'intégrité reliant analytiquement ce niveau de protection et les première et deuxième valeurs d'erreur.

Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le procédé de détection comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

25 - au moins certains des coefficients de calcul, dits coefficients de fausse alerte, sont déterminés selon la relation suivante :

$$K_{FA,dim} = Q^{-1} \left( \frac{P_{FA,dim}}{2N_{fault}} \right);$$

où

$K_{FA,dim}$  est un coefficient de fausse alerte selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{FA,dim}$  est la deuxième valeur d'erreur selon la dimension donnée  $dim$  ;

30  $N_{fault}$  est le nombre de pannes surveillées correspondant ; et

$Q^{-1}(x)$  est la fonction inverse de la fonction de répartition de la loi gaussienne dans le point  $x$  ;

4

- pour une dimension donnée, la relation d'intégrité comprend le coefficient de fausse alerte selon cette dimension ;

- la relation d'intégrité s'écrit sous la forme suivante :

$$2Q\left(\frac{PL_{dim} - b_{dim}^{(0)}}{\sigma_{dim}^{(0)}}\right) + \sum_j p_{fault}^{(j)} Q\left(\frac{PL_{dim} - \sigma_{dim}^{(0-j)} K_{FA,dim} - b_{dim}^{(j)}}{\sigma_{dim}^{(j)}}\right) \\ = P_{HMI,dim} - P_{faults\ not\ monitored,dim}$$

où

5  $PL_{dim}$  est le niveau de protection à déterminer selon la dimension donnée  $dim$  ;

$j$  est l'indice d'une panne surveillée variant de 1 à  $N_{fault}$  ;

$p_{fault}^{(j)}$  est la probabilité d'occurrence de la panne ayant l'indice  $j$  ;

$P_{HMI,dim}$  est la première valeur d'erreur selon la dimension donnée  $dim$  ;

10  $P_{faults\ not\ monitored,dim}$  est la somme des probabilités d'occurrence des pannes non-surveillées selon la dimension donnée  $dim$  ; et

$\sigma_{dim}^{(0)}$ ,  $\sigma_{dim}^{(j)}$ ,  $\sigma_{dim}^{(0-j)}$ ,  $b_{dim}^{(0)}$  et  $b_{dim}^{(j)}$  sont différentes données statistiques obtenues à partir de la solution de navigation selon la dimension donnée  $dim$  et d'une pluralité de sous-solutions selon la dimension donnée  $dim$ , chaque sous-solution étant associée à l'indice  $j$  et correspondant à une solution de navigation calculée sous l'hypothèse que la

15 panne ayant l'indice  $j$  s'est produite ;

- au moins certains des coefficients de calcul, dits premiers coefficients pour frontière basse, sont déterminés selon la relation suivante :

$$K_{FF(0),dim} = Q^{-1}\left(\frac{P_{HMI,dim} - P_{faults\ not\ monitored,dim}}{2}\right);$$

où

20  $K_{FF(0),dim}$  est un premier coefficient pour frontière basse selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{HMI,dim}$  est la première valeur d'erreur selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{faults\ not\ monitored,dim}$  est la somme des probabilités d'occurrence des pannes non-surveillées selon la dimension donnée  $dim$  ; et

25  $Q^{-1}(x)$  est la fonction inverse de la fonction de répartition de la loi gaussienne dans le point  $x$  ;

- au moins certains des coefficients de calcul, dits premiers coefficients pour frontière haute, sont déterminés selon la relation suivante :

$$K_{FFR(0),dim} = Q^{-1}\left(\frac{P_{HMI,dim} - P_{faults\ not\ monitored,dim}}{2(N_{fault} + 1)}\right);$$

5

où

$K_{FFR(0),dim}$  est un premier coefficient pour frontière haute selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{HMI,dim}$  est la première valeur d'erreur selon la dimension donnée  $dim$  ;

5  $P_{faults\ not\ monitored,dim}$  est la somme des probabilités d'occurrence des pannes non-surveillées selon la dimension donnée  $dim$  ; et

$N_{fault}$  est le nombre de pannes surveillées correspondant ; et

$Q^{-1}(x)$  est la fonction inverse de la fonction de répartition de la loi gaussienne dans le point  $x$  ;

10 - au moins certains des coefficients de calcul, dits deuxièmes coefficients pour frontière basse et deuxièmes coefficients pour frontière haute, sont déterminés en outre en fonction de la probabilité d'occurrence d'une panne parmi les pannes surveillées ;

- les deuxièmes coefficients pour frontière basse sont déterminés selon la relation suivante :

$$K_{FF,dim} = Q^{-1} \left( \frac{P_{HMI,dim} - P_{faults\ not\ monitored,dim}}{p_{fault}^{(j)}} \right);$$

15 où

$K_{FF,dim}$  est un deuxième coefficient pour frontière basse selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{HMI,dim}$  est la première valeur d'erreur selon la dimension donnée  $dim$  ;

20  $P_{faults\ not\ monitored,dim}$  est la somme des probabilités d'occurrence des pannes non-surveillées selon la dimension donnée  $dim$  ;

$j$  est l'indice d'une panne surveillée variant de 1 à  $N_{fault}$  ;

$N_{fault}$  est le nombre de pannes surveillées ;

$p_{fault}^{(j)}$  est la probabilité d'occurrence de la panne ayant l'indice  $j$  ; et

25  $Q^{-1}(x)$  est la fonction inverse de la fonction de répartition de la loi gaussienne dans le point  $x$  ;

- les deuxièmes coefficients pour frontière haute sont déterminés selon la relation suivante :

$$K_{FFR,dim} = Q^{-1} \left( \frac{P_{HMI,dim} - P_{faults\ not\ monitored,dim}}{p_{fault}^{(j)} (N_{fault} + 1)} \right);$$

où

6

$K_{FFR,dim}$  est un deuxième coefficient pour frontière basse selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{HMI,dim}$  est la première valeur d'erreur selon la dimension donnée  $dim$  ;

5  $P_{faults\ not\ monitored,dim}$  est la somme des probabilités d'occurrence des pannes non-surveillées selon la dimension donnée  $dim$  ;

$N_{fault}$  est le nombre de pannes surveillées correspondant ;

$j$  est l'indice d'une panne surveillée variant de 1 à  $N_{fault}$  ;

$p_{fault}^{(j)}$  est la probabilité d'occurrence de la panne ayant l'indice  $j$  ; et

10  $Q^{-1}(x)$  est la fonction inverse de la fonction de répartition de la loi gaussienne dans le point  $x$  ;

- lors de la phase principale, le niveau de protection correspondant est déterminé à partir de la relation d'intégrité par la méthode de dichotomie en partant d'une frontière basse et d'une frontière haute ;

15 la frontière basse étant déterminée en fonction du premier et des deuxièmes coefficients pour frontière basse correspondant au nombre courant de pannes surveillées et à la dimension donnée ; et

la frontière haute étant déterminée en fonction du premier et des deuxièmes coefficients pour frontière haute correspondant au nombre courant de pannes surveillées et à la dimension donnée.

20 L'invention a également pour objet un produit programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsque mises en œuvre par un équipement informatique, mettent en œuvre un procédé tel que défini ci-dessus.

L'invention a également pour objet un récepteur comportant des moyens configurés pour mettre en œuvre un procédé tel que défini ci-dessus.

25 Ces caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique de deux systèmes globaux de positionnement par satellites et d'un récepteur selon l'invention ;

30 - la figure 2 est une vue schématique détaillée du récepteur de la figure 1 ;

- la figure 3 est un organigramme d'un procédé de détermination de niveaux de protection de solutions de navigation selon l'invention, le procédé étant mis en œuvre par le récepteur de la figure 1.

35 La figure 1 illustre en effet deux systèmes 10, 12 globaux de positionnement par satellites et un récepteur 14.

Chaque système global de positionnement par satellites 10, 12, dit par la suite constellation, est un système de type GNSS (de l'anglais « *Global Navigation Satellite System* ») comportant des satellites aptes à émettre des signaux électromagnétiques vers la surface terrestre. Ces signaux électromagnétiques encodent notamment des informations relatives à l'instant de leur émission.

Dans l'exemple de la figure 1, le système 10 est par exemple le système GPS et le système 12 est par exemple le système GLONASS. Le système 10 comporte par exemple au moins quatre satellites respectivement 10A à 10D visibles par le récepteur 14 et le système 12 comporte par exemple au moins deux satellites respectivement 12A et 12B visibles par le récepteur 14.

Il est à noter que dans le cas général, le nombre des satellites visibles par le récepteur 14 change avec le temps et avec le déplacement de ce récepteur.

Le récepteur 14 est apte à recevoir des signaux électromagnétiques émis par des satellites visibles 10A à 10D et 12A et 12B à partir de sa position courante.

Le récepteur 14 est notamment apte à extraire des signaux électromagnétiques reçus les informations relatives à l'instant de leur émission. À partir de ces informations et en connaissant la position de chacun des satellites, le récepteur 14 est apte à déterminer au moins une solution de navigation selon des méthodes connues en soi.

La solution de navigation déterminée comprend notamment la position du récepteur 14 dans un repère terrestre, sa vitesse ainsi que le temps synchronisé avec le système 10 ou 12.

Le récepteur 14 est utilisé par exemple dans le cadre de la navigation aéronautique. Il est ainsi par exemple embarqué au bord d'un aéronef 16 afin de fournir la position géographique de cet aéronef 16 lors de son pilotage.

Le récepteur 14 est illustré plus en détail sur la figure 2.

Ainsi, en référence à cette figure 2, le récepteur comporte une antenne 21 apte à recevoir des signaux électromagnétiques issus des satellites des systèmes 10, 12, un module 23 de calcul de solutions de navigation, un module 25 de calcul de niveaux de protection et une base de données 27.

Le récepteur 14 se présente par exemple au moins en partie sous la forme d'un calculateur comportant en outre un processeur et une mémoire apte à stocker notamment une pluralité de logiciels que le processeur est apte à exécuter.

Dans ce cas, les modules 23 et 25 se présentent sous la forme des logiciels stockés dans la mémoire et exécutés par le processeur. La base de données 27 est également stockée dans cette mémoire.

## 8

Selon un autre exemple de réalisation, les modules 23 et 25 se présentent sous la forme de circuits intégrés.

Le module de calcul de solutions de navigation 23 permet de déterminer à partir des signaux électromagnétiques reçus par l'antenne 21, au moins une solution de navigation, dite solution principale, comme expliqué précédemment.

Cette solution est déterminée selon au moins une dimension  $dim$  prédéterminée et sous l'hypothèse que l'ensemble des satellites visibles 10A à 10D, 12A et 12B sont opérationnels.

Chaque dimension  $dim$  prédéterminée est choisie par exemple dans un groupe comportant :

- direction nord ;
- direction est ;
- direction haut ;
- temps de référence du système 10 ;
- temps de référence du système 12.

Le nombre d'éléments dans ce groupe sera dénoté par la suite par  $N_{dim}$ .

Le module de calcul de solutions de navigation 23 permet en outre de déterminer des informations redondantes relatives à la solution principale. Ces informations redondantes comprennent une pluralité de sous-solutions selon au moins une dimension  $dim$ .

Chaque sous-solution est associée à l'indice  $j$  variant de 1 à  $N_{fault}$ , où  $N_{fault}$  est un nombre courant de pannes surveillées dont la signification sera expliquée par la suite.

La sous-solution associée à l'indice  $j$  est déterminée sous l'hypothèse que la panne ayant l'indice  $j$  s'est produite, selon des méthodes connues en soi.

Le module de calcul de niveaux de protection 25 permet pour chaque solution de navigation déterminée par le module 23, de déterminer un niveau de protection  $PL_{dim}$  selon une dimension  $dim$  donnée en surveillant  $N_{fault}$  pannes susceptibles de se produire dans les systèmes 10, 12.

Le module de calcul de niveaux de protection 25 est apte notamment à mettre en œuvre un procédé de détermination de niveaux de protection selon l'invention qui sera expliqué plus en détail par la suite.

Comme cela a été mentionné précédemment, chaque panne surveillée est repérée par l'indice  $j$  variant alors de 1 à  $N_{fault}$ .

Chaque panne est associée à un type de panne. Dans l'exemple décrit, chaque type de panne est choisi dans le groupe comprenant :

- simple ; et

- multiple.

Le nombre d'éléments compris dans ce groupe sera dénoté par la suite par  $N_{type}$ .

Une panne est de type simple lorsqu'elle affecte un seul satellite de l'une des constellations.

5 Une panne est de type multiple lorsqu'elle affecte au moins deux satellites d'une même constellation. Dans ce cas, toute constellation est considérée comme défaillante.

En outre, chaque panne est associée à une valeur de panne  $p_{faute}^{(j)}$  correspondant à la probabilité d'occurrence de cette panne.

10 Selon l'exemple de réalisation décrit, les valeurs de panne  $p_{faute}^{(j)}$  associées à un même type de panne sont égales entre elles.

Chaque niveau de protection  $PL_{dim}$  selon la dimension  $dim$  est notamment déterminé en fonction d'une première valeur d'erreur  $P_{HMI,dim}$  correspondant à la probabilité de fourniture d'une solution de navigation dont le taux d'erreur n'excède pas un seuil d'intégrité prédéterminé et d'une deuxième valeur d'erreur  $P_{FA,dim}$  correspondant à  
15 la probabilité de fausse alerte, selon cette dimension  $dim$ .

Chaque niveau de protection  $PL_{dim}$  selon la dimension  $dim$  définit alors un rayon de protection selon cette dimension  $dim$  de la solution de navigation correspondante en deçà duquel cette solution selon la dimension  $dim$  est garantie avec la probabilité  $1 - P_{HMI\ reduced,dim}$ , où  $P_{HMI\ reduced,dim}$  correspond à la première valeur d'erreur  $P_{HMI,dim}$   
20 réduite par la somme des probabilités d'occurrence des pannes non-surveillées suivant la dimension  $dim$ .

En particulier,

$$P_{HMI\ reduced,dim} = P_{HMI,dim} - P_{fautes\ not\ monitored,dim}$$

où  $P_{fautes\ not\ monitored,dim}$  est la somme des probabilités d'occurrence des pannes non-surveillées suivant la dimension  $dim$ . Cette valeur  $P_{fautes\ not\ monitored,dim}$  est  
25 prédéterminée pour chaque dimension  $dim$  et est inférieure à la valeur  $P_{HMI,dim}$ .

La base de données 27 est apte à stocker au moins certaines données nécessaires à la mise en œuvre du procédé de détermination comme cela sera expliqué par la suite.

30 Le procédé de détermination de niveaux de protection selon l'invention sera désormais décrit en référence à la figure 3 illustrant un organigramme de ses étapes.

Ce procédé comprend une phase préliminaire  $P_0$  et une phase principale  $P_1$ . La phase préliminaire  $P_0$  est mise en œuvre au moins une fois avant la phase principale  $P_1$ .

En particulier, la phase préliminaire  $P_0$  est mise en œuvre à chaque changement d'au moins une des valeurs parmi les premiers et deuxièmes valeurs d'erreur  $P_{HMI,dim}$ ,

$P_{FA,dim}$  selon au moins une dimension  $dim$  donnée ou au moins une des valeurs de panne  $p_{faut}^{(j)}$ .

Lors de l'étape initiale 110 de la phase préliminaire  $P_0$ , le module de calcul de niveaux de protection 25 acquiert les premières et deuxièmes valeurs d'erreur  $P_{HMI,dim}$ ,  $P_{FA,dim}$  selon chaque dimension  $dim$  prédéterminée. Lors de la même étape, le module de calcul de niveaux de protection 25 acquiert en outre, selon chaque dimension  $dim$  prédéterminée, les valeurs  $P_{faults\ not\ monitored,dim}$  et des valeurs de biais  $b_{dim}^{(j)}$  dont la signification sera expliquée par la suite.

L'ensemble de ces valeurs est par exemple fourni lors de la conception ou de la maintenance du récepteur 14 par des bases de données externes prévues à cet effet, ou bien encore en cours d'exécution via un lien externe.

Selon une variante de réalisation, ces valeurs sont fournies au démarrage du récepteur 14 lorsque par exemple l'aéronef 16 se trouve au sol en préparation du vol.

Lors de l'étape 120 suivante, le module de calcul de niveaux de protection 25 acquiert un ensemble  $E$  de nombres  $N_{fault}$  de pannes surveillées. Le nombre d'éléments dans l'ensemble  $E$  sera dénoté par la suite par  $|E|$ .

Ainsi, par exemple, si les hypothèses d'occurrence de pannes conduisent à surveiller uniquement les pannes de type multiple du système 12 et les pannes de type simple des deux systèmes 10, 12, pour une solution de navigation utilisant entre 4 et 12 satellites du système 10 et entre 2 et 12 satellites du système 12, l'ensemble  $E$  contient 19 nombres naturels  $N_{fault}$  variant de 7 à 25. Chacun de ces nombres  $N_{fault}$  correspond donc au nombre de pannes susceptibles d'être surveillées lors de la phase principale  $P_1$ .

Puis, lors de la même étape, pour chaque type de panne, le module de calcul de niveaux de protection 25 acquiert une valeur de panne  $p_{faut}^{(j)}$ .

Comme dans l'étape précédente, l'ensemble  $E$  et les valeurs de panne  $p_{faut}^{(j)}$  sont fournis par exemple par des bases de données externes lors de la conception ou de la maintenance du récepteur 14. Il est à noter que les valeurs de panne  $p_{faut}^{(j)}$  ainsi que les valeurs de biais  $b_{dim}^{(j)}$  peuvent être mises à jour ultérieurement, lors notamment de l'exécution de la phase principale  $P_1$  via par exemple un lien externe. Dans ce cas, au moins certaines des étapes de la phase préliminaire  $P_0$  sont à nouveau mises en œuvre pour prendre en compte ces changements.

Lors de l'étape 130 suivante, le module de calcul de niveaux de protection 25 détermine pour chaque dimension  $dim$  et éventuellement, pour chaque nombre de

pannes surveillées  $N_{fault}$  de l'ensemble  $E$  et/ou pour chaque type de panne, une pluralité de coefficients de calcul parmi lesquelles sont :

- coefficients de fausse alerte  $K_{FA,dim}$  ;
- premiers coefficients pour frontière basse  $K_{FF(0),dim}$  ;
- 5 - premiers coefficients pour frontière haute  $K_{FFR(0),dim}$  ;
- deuxièmes coefficients pour frontière basse  $K_{FF,dim}$  ; et
- deuxièmes coefficients pour frontière haute  $K_{FFR,dim}$ .

Chaque coefficient de calcul selon une dimension  $dim$  donnée est déterminé en utilisant la fonction inverse de la fonction de répartition de la loi gaussienne, la fonction inverse étant calculée dans un point déterminé en fonction de la deuxième valeur d'erreur  $P_{FA,dim}$  correspondant à cette dimension  $dim$  et du nombre de pannes surveillées  $N_{fault}$  correspondant et/ou de la première valeur d'erreur  $P_{HMI,dim}$  correspondant à cette dimension  $dim$ .

En particulier, chaque coefficient de fausse alerte  $K_{FA,dim}$  pour une dimension  $dim$  donnée et un nombre de pannes surveillées  $N_{fault}$  donné est déterminé selon la relation suivante :

$$K_{FA,dim} = Q^{-1} \left( \frac{P_{FA,dim}}{2N_{fault}} \right);$$

où

$Q^{-1}(x)$  est la fonction inverse de la fonction de répartition de la loi gaussienne  $Q$  dans le point  $x$ , la loi gaussienne  $Q$  étant définie par la relation suivante :

$$x = Q(y) = 1/\sqrt{2\pi} \int_y^{+\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du.$$

20 Ainsi, lors de cette étape  $|E| \times N_{dim}$  coefficients  $K_{FA,dim}$  sont déterminés. Lorsque  $|E| = 19$  et  $N_{dim} = 2$ , le nombre des coefficients  $K_{FA,dim}$  déterminés lors de cette étape est donc égal à 38.

Chaque premier coefficient pour frontière basse  $K_{FF(0),dim}$  pour une dimension  $dim$  donnée, est déterminé selon la relation suivante :

$$K_{FF(0),dim} = Q^{-1} \left( \frac{P_{HMI \text{ reduced},dim}}{2} \right).$$

25 Ainsi, lors de cette étape  $N_{dim}$  coefficients  $K_{FF(0),dim}$  sont déterminés.

Chaque premier coefficient pour frontière haute  $K_{FFR(0),dim}$  pour une dimension  $dim$  donnée et un nombre de pannes surveillées  $N_{fault}$  donné, est déterminé selon la relation suivante :

$$K_{FFR(0),dim} = Q^{-1} \left( \frac{p_{HMI \text{ reduced},dim}}{2(N_{fault} + 1)} \right).$$

Ainsi, lors de cette étape  $|E| \times N_{dim}$  coefficients  $K_{FFR(0),dim}$  sont déterminés.

Lorsque  $|E| = 19$  et  $N_{dim} = 2$ , le nombre des coefficients  $K_{FFR(0),dim}$  déterminés lors de cette étape est donc égal à 38.

5 Chaque deuxième coefficient pour frontière basse  $K_{FF,dim}$  est déterminé pour une dimension  $dim$  donnée et un type de panne donné, selon la relation suivante :

$$K_{FF,dim} = Q^{-1} \left( \frac{p_{HMI \text{ reduced},dim}}{p_{fault}^{(j)}} \right).$$

Ainsi, lors de cette étape  $N_{type} \times N_{dim}$  coefficients  $K_{FF,dim}$  sont déterminés.

Lorsque  $N_{type} = 2$  et  $N_{dim} = 2$ , le nombre des coefficients  $K_{FF,dim}$  déterminés lors de cette étape est donc égal à 4.

10 Chaque deuxième coefficient pour frontière basse est déterminé pour une dimension  $dim$  donnée, un type de panne donné et un nombre de pannes surveillées  $N_{fault}$  donné, selon la relation suivante :

$$K_{FFR,dim} = Q^{-1} \left( \frac{p_{HMI \text{ reduced},dim}}{p_{fault}^{(j)}(N_{fault} + 1)} \right).$$

Ainsi, lors de cette étape  $|E| \times N_{dim} \times N_{type}$  coefficients  $K_{FFR,dim}$  sont déterminés.

Lorsque  $|E| = 19$ ,  $N_{type} = 2$  et  $N_{dim} = 2$ , le nombre des coefficients  $K_{FFR,dim}$  déterminés lors de cette étape est donc égal à 76.

15 Lors de l'étape finale 140 de la phase préliminaire  $P_0$ , le module de calcul de niveaux de protection 25 stocke l'ensemble des coefficients de calcul déterminés dans la base de données 27 sous la forme par exemple d'une pluralité de tableaux.

20 La phase principale  $P_1$  est mise en œuvre lorsqu'il est nécessaire de déterminer un niveau de protection  $PL_{dim}$  selon une dimension  $dim$  donnée pour une solution de navigation déterminée par le module de calcul de solutions de navigation 23.

Ainsi, la phase principale  $P_1$  est mise en œuvre après la détermination de chaque nouvelle solution de navigation.

25 Lors de l'étape initiale 160 de cette phase principale  $P_1$ , le module de calcul de niveaux de protection 25 détermine un nombre courant  $N_{fault}$  de pannes surveillées correspondant à l'un des nombres de l'ensemble  $E$ . Le nombre courant  $N_{fault}$  est déterminé en fonction par exemple du nombre des satellites visibles par le récepteur 14.

Puis, lors de la même étape, le module de calcul de niveaux de protection 25 détermine la solution de navigation principale ainsi que les sous-solutions déterminées par le module de calcul de solutions de navigation 25.

5 Lors de l'étape 170 suivante, le module de calcul de niveaux de protection 25 détermine des données statistiques relatives à la solution principale et aux sous-solutions acquises.

En particulier, lors de cette étape, le module de calcul de niveaux de protection 25 détermine les données statistiques suivantes :

- 10 -  $\sigma_{dim}^{(0)}$  correspondant à l'écart-type de la solution principale selon la dimension  $dim$  ;
- $\sigma_{dim}^{(j)}$  correspondant à l'écart-type de la sous-solution  $j$  selon la dimension  $dim$  ;
- $\sigma_{dim}^{(0-j)}$  correspondant à l'écart-type de la distance séparant la solution principale de la sous-solution  $j$  selon la dimension  $dim$  ; et
- 15 -  $b_{dim}^{(j)}$  correspondant à l'effet cumulé des biais nominaux sur les mesures utilisées dans le calcul de la solution principale (pour  $j = 0$ ) et des sous-solutions (pour  $j \geq 1$ ) selon la dimension  $dim$ .

Les valeurs  $b_{dim}^{(j)}$  peuvent par ailleurs être mises à jour lors de différentes itérations de la phase principale  $P_1$  via par exemple un lien externe.

20 Lors de l'étape 180 suivante, le module de calcul de niveaux de protection 25 détermine le niveau de protection  $PL_{dim}$  correspondant selon au moins une dimension  $dim$  donnée, à partir d'une relation d'intégrité reliant analytiquement ce niveau de protection  $PL_{dim}$  et les première et deuxième valeurs d'erreur  $P_{HMI,dim}$ ,  $P_{FA,dim}$ .

En particulier, pour une dimension  $dim$  donnée, la relation d'intégrité s'écrit sous la forme suivante :

$$F(PL_{dim}) = 2Q\left(\frac{PL_{dim} - b_{dim}^{(0)}}{\sigma_{dim}^{(0)}}\right) + \sum_j p_{fault}^{(j)} Q\left(\frac{PL_{dim} - \sigma_{dim}^{(0-j)} K_{FA,dim} - b_{dim}^{(j)}}{\sigma_{dim}^{(j)}}\right)$$

$$= p_{HMI\ reduced,dim}$$

25 Pour résoudre l'équation  $F(PL_{dim}) = p_{HMI\ reduced,dim}$ , le module de calcul de niveaux de protection 25 met en œuvre une méthode numérique, par exemple la méthode de résolution par dichotomie.

L'étape 180 comprend ainsi plusieurs sous-étapes.

30 Lors de la sous-étape 181 initiale, le module de calcul de niveaux de protection 25 détermine pour le niveau de protection recherchée  $PL_{dim}$  une frontière basse  $PL_{low,dim}$  et une frontière haute  $PL_{hi,dim}$ .

Ces frontières sont déterminées à partir des relations suivantes :

$$PL_{low,dim} = \max \left\{ K_{FF(0),dim} \sigma_{dim}^{(0)}, \max_j \left\{ K_{FF,dim} \sigma_{dim}^{(j)} + K_{FA,dim} \sigma_{dim}^{(0-j)} \right\} \right\},$$

$$PL_{hi,dim} = \max \left\{ K_{FFR(0),dim} \sigma_{dim}^{(0)}, \max_j \left\{ K_{FFR,dim} \sigma_{dim}^{(j)} + K_{FA,dim} \sigma_{dim}^{(0-j)} \right\} \right\}.$$

Pour déterminer ces frontières, le module de calcul de niveaux de protection 25 utilise donc les coefficients de calcul  $K_{FF(0),dim}$ ,  $K_{FFR(0),dim}$ ,  $K_{FF,dim}$ ,  $K_{FFR,dim}$  et  $K_{FA,dim}$  déterminés lors de la phase préliminaire  $P_0$  et stockés dans la base de données 27, pour la dimension  $dim$  correspondante et éventuellement, pour le nombre courant de pannes surveillées  $N_{fault}$  et pour le type de panne correspondants.

Lors de la sous-étape 182 suivante, le module de calcul de niveaux de protection 25 détermine la différence entre les frontières haute  $PL_{hi,dim}$  et basse  $PL_{low,dim}$ . Si cette différence est supérieure à un seuil de tolérance prédéterminé, le module 25 passe à la sous-étape 183. Dans le cas contraire, le module 25 passe à la sous-étape 184.

Lors de la sous-étape 183, le module de calcul de niveaux de protection 25 détermine un niveau médian de protection  $PL_{med}$  selon la relation suivante :

$$PL_{med} = \frac{PL_{low,dim} + PL_{hi,dim}}{2}.$$

Puis, le module de calcul de niveaux de protection 25 calcule la fonction  $F(PL_{med})$  dans ce niveau médian de protection  $PL_{med}$ .

La fonction  $F(PL_{med})$  est donc calculée en utilisant le coefficient  $K_{FA,dim}$  stocké dans la base de donnée 27 pour la dimension  $dim$  et le nombre courant de pannes surveillées  $N_{fault}$  correspondants.

Lorsque cette fonction  $F(PL_{med})$  est supérieure à la partie droite de la relation d'intégrité, c'est-à-dire supérieure à  $p_{HMI\ reduced,dim}$ , le module de calcul de niveaux de protection 25 associe une nouvelle frontière basse  $PL_{low,dim}$  à ce niveau médian de protection  $PL_{med}$ .

Dans le cas contraire, le module de calcul de niveaux de protection 25 associe une nouvelle frontière haute  $PL_{hi,dim}$  à ce niveau médian de protection  $PL_{med}$ .

Puis, à la fin de cette sous-étape 183, le module de calcul de niveaux de protection 25 passe à la sous-étape 182 lors de laquelle il compare à nouveau la différence entre les frontières haute  $PL_{hi,dim}$  et basse  $PL_{low,dim}$ , l'une de ces valeurs ayant été modifiée lors de la sous-étape 182, avec le seuil de tolérance.

Finalement, lors de la sous-étape 184, le module de calcul de niveaux de protection 25 associe le niveau de protection recherchée  $PL_{dim}$  par exemple à la frontière basse  $PL_{low,dim}$ .

Lors de l'étape 190 finale du procédé, le module de calcul de niveaux de protection 25 transmet le niveau de protection  $PL_{dim}$  obtenu au module de calcul de solutions de navigation 23 qui lève par exemple une alerte lorsque ce niveau est inférieur à un seuil prédéterminé.

5 On conçoit alors que la présente invention présente un certain nombre d'avantages.

Le procédé de détermination de niveaux de protection selon l'invention permet d'accélérer considérablement le calcul des niveaux de protection en rendant sa mise en œuvre possible même sur des récepteurs ayant des capacités de calcul limitées et ceci  
10 en temps réel.

Un tel effet a été atteint grâce à l'utilisation de la phase préliminaire lors de laquelle un certain nombre de coefficients est calculé préalablement à la mise en œuvre de la phase principale. Ces coefficients sont stockés dans une base de données prévue à cet effet et sont accessibles à tout moment lors de l'exécution de la phase principale.

15 Ainsi, il n'est plus besoin de recalculer ces coefficients pour chaque solution de navigation de sorte que la résolution de la relation d'intégrité est considérablement accélérée. En particulier, il n'est plus besoin de recalculer en temps réel la fonction inverse  $Q^{-1}$  de la fonction de répartition de la loi gaussienne  $Q$  ce qui présente un avantage particulier de l'invention.

20 Finalement, il est possible d'adapter les récepteurs existants à la mise en œuvre du procédé selon l'invention de manière particulièrement simple, en faisant par exemple une mise à jour de leur logiciel. Ceci présente alors un aspect particulièrement avantageux de l'invention.

25

REVENDICATIONS

1.- Procédé de détermination de niveaux de protection ( $PL_{dim}$ ) de solutions de navigation, chaque solution de navigation étant déterminée à partir des signaux électromagnétiques émis par des satellites (10A,...,10D, 12A,12B) d'un ou de plusieurs systèmes (10, 12) globaux de positionnement par satellites, dits constellation ;

le procédé comprenant une phase préliminaire ( $P_0$ ) et une phase principale ( $P_1$ ), la phase préliminaire ( $P_0$ ) étant mise en œuvre au moins une fois avant la phase principale ( $P_1$ ), la phase principale ( $P_1$ ) étant mise en œuvre à la détermination de chaque nouvelle solution de navigation ;

la phase préliminaire ( $P_0$ ) comprenant les étapes suivantes :

- pour chaque dimension prédéterminée ( $dim$ ), acquisition (110) d'une première valeur d'erreur ( $P_{HMI,dim}$ ) correspondant à la probabilité de fourniture d'une solution de navigation dont le taux d'erreur n'excède pas un seuil d'intégrité prédéterminé selon cette dimension ( $dim$ ) et d'une deuxième valeur d'erreur ( $P_{FA,dim}$ ) correspondant à la probabilité de détermination d'une fausse alerte selon cette dimension ( $dim$ ) ;

- fourniture (120) d'un ensemble ( $E$ ) de nombres ( $N_{fault}$ ) de pannes surveillées ;

- pour chaque nombre de pannes surveillées ( $N_{fault}$ ) et pour chaque dimension ( $dim$ ) prédéterminée, détermination (130) d'une pluralité de coefficients de calcul, chaque coefficient de calcul étant déterminé en utilisant la fonction inverse ( $Q^{-1}$ ) de la fonction de répartition de la loi gaussienne ( $Q$ ), la fonction inverse ( $Q^{-1}$ ) étant calculée dans un point déterminé en fonction de la deuxième valeur d'erreur ( $P_{FA,dim}$ ) correspondant à cette dimension ( $dim$ ) et du nombre de pannes surveillées ( $N_{fault}$ ) correspondant et/ou de la première valeur d'erreur ( $P_{HMI,dim}$ ) correspondant à cette dimension ( $dim$ ) ;

- stockage (140) de l'ensemble des coefficients de calcul déterminés ;

la phase principale ( $P_1$ ) comprenant les étapes suivantes :

- détermination (160) d'un nombre courant ( $N_{fault}$ ) de pannes surveillées en fonction du nombre de constellations (10, 12) utilisées et du nombre des satellites visibles dans chacune de ces constellations (10, 12) ;

- détermination (180) d'un niveau de protection ( $PL_{dim}$ ) de la solution de navigation correspondante selon une dimension ( $dim$ ) donnée en utilisant une relation d'intégrité et les coefficients de calcul déterminés lors de la phase préliminaire ( $P_0$ ) pour le nombre courant de pannes surveillées ( $N_{fault}$ ) et pour cette dimension ( $dim$ ), la relation d'intégrité reliant analytiquement ce niveau de protection ( $PL$ ) et les première et deuxième valeurs ( $P_{HMI,dim}$ ,  $P_{FA,dim}$ ) d'erreur.

2.- Procédé selon la revendication 1, dans lequel au moins certains des coefficients de calcul, dits coefficients de fausse alerte ( $K_{FA,dim}$ ), sont déterminés selon la relation suivante :

$$K_{FA,dim} = Q^{-1} \left( \frac{P_{FA,dim}}{2N_{fault}} \right);$$

5 où

$K_{FA,dim}$  est un coefficient de fausse alerte selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{FA,dim}$  est la deuxième valeur d'erreur selon la dimension donnée  $dim$  ;

$N_{fault}$  est le nombre de pannes surveillées correspondant ; et

10  $Q^{-1}(x)$  est la fonction inverse de la fonction de répartition de la loi gaussienne dans le point  $x$ .

3.- Procédé selon la revendication 2, dans lequel, pour une dimension ( $dim$ ) donnée, la relation d'intégrité comprend le coefficient de fausse alerte selon cette dimension ( $dim$ ).

15

4.- Procédé selon la revendication 2 ou 3, dans lequel la relation d'intégrité s'écrit sous la forme suivante :

$$2Q \left( \frac{PL_{dim} - b_{dim}^{(0)}}{\sigma_{dim}^{(0)}} \right) + \sum_j p_{fault}^{(j)} Q \left( \frac{PL_{dim} - \sigma_{dim}^{(0-j)} K_{FA,dim} - b_{dim}^{(j)}}{\sigma_{dim}^{(j)}} \right) \\ = P_{HMI,dim} - P_{faults \text{ not monitored},dim}$$

où

$PL_{dim}$  est le niveau de protection à déterminer selon la dimension donnée  $dim$  ;

20  $j$  est l'indice d'une panne surveillée variant de 1 à  $N_{fault}$  ;

$p_{fault}^{(j)}$  est la probabilité d'occurrence de la panne ayant l'indice  $j$  ;

$P_{HMI,dim}$  est la première valeur d'erreur selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{faults \text{ not monitored},dim}$  est la somme des probabilités d'occurrence des pannes non-surveillées selon la dimension donnée  $dim$  ; et

25

$\sigma_{dim}^{(0)}$ ,  $\sigma_{dim}^{(j)}$ ,  $\sigma_{dim}^{(0-j)}$ ,  $b_{dim}^{(0)}$  et  $b_{dim}^{(j)}$  sont différentes données statistiques obtenues à partir de la solution de navigation selon la dimension donnée  $dim$  et d'une pluralité de sous-solutions selon la dimension donnée  $dim$ , chaque sous-solution étant associée à l'indice  $j$  et correspondant à une solution de navigation calculée sous l'hypothèse que la panne ayant l'indice  $j$  s'est produite.

5.- Procédé selon la revendication l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins certains des coefficients de calcul, dits premiers coefficients pour frontière basse ( $K_{FF(0),dim}$ ), sont déterminés selon la relation suivante :

$$K_{FF(0),dim} = Q^{-1} \left( \frac{P_{HMI,dim} - P_{faults\ not\ monitored,dim}}{2} \right);$$

5 où

$K_{FF(0),dim}$  est un premier coefficient pour frontière basse selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{HMI,dim}$  est la première valeur d'erreur selon la dimension donnée  $dim$  ;

10  $P_{faults\ not\ monitored,dim}$  est la somme des probabilités d'occurrence des pannes non-surveillées selon la dimension donnée  $dim$  ; et

$Q^{-1}(x)$  est la fonction inverse de la fonction de répartition de la loi gaussienne dans le point  $x$ .

15 6.- Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins certains des coefficients de calcul, dits premiers coefficients pour frontière haute ( $K_{FFR(0),dim}$ ), sont déterminés selon la relation suivante :

$$K_{FFR(0),dim} = Q^{-1} \left( \frac{P_{HMI,dim} - P_{faults\ not\ monitored,dim}}{2(N_{fault} + 1)} \right);$$

où

$K_{FFR(0),dim}$  est un premier coefficient pour frontière haute selon la dimension donnée  $dim$  ;

20  $P_{HMI,dim}$  est la première valeur d'erreur selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{faults\ not\ monitored,dim}$  est la somme des probabilités d'occurrence des pannes non-surveillées selon la dimension donnée  $dim$  ; et

$N_{fault}$  est le nombre de pannes surveillées correspondant ; et

25  $Q^{-1}(x)$  est la fonction inverse de la fonction de répartition de la loi gaussienne dans le point  $x$ .

7.- Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins certains des coefficients de calcul, dits deuxièmes coefficients pour frontière basse ( $K_{FF,dim}$ ) et deuxièmes coefficients pour frontière haute ( $K_{FFR,dim}$ ), sont déterminés en outre en fonction de la probabilité d'occurrence ( $p_{fault}^{(j)}$ ) d'une panne parmi les pannes surveillées.

8.- Procédé selon la revendication 7, dans lequel les deuxièmes coefficients pour frontière basse ( $K_{FF,dim}$ ) sont déterminés selon la relation suivante :

$$K_{FF,dim} = Q^{-1} \left( \frac{P_{HMI,dim} - P_{faults\ not\ monitored,dim}}{p_{fault}^{(j)}} \right);$$

où

5  $K_{FF,dim}$  est un deuxième coefficient pour frontière basse selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{HMI,dim}$  est la première valeur d'erreur selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{faults\ not\ monitored,dim}$  est la somme des probabilités d'occurrence des pannes non-surveillées selon la dimension donnée  $dim$  ;

10  $j$  est l'indice d'une panne surveillée variant de 1 à  $N_{fault}$  ;

$N_{fault}$  est le nombre de pannes surveillées ;

$p_{fault}^{(j)}$  est la probabilité d'occurrence de la panne ayant l'indice  $j$  ; et

$Q^{-1}(x)$  est la fonction inverse de la fonction de répartition de la loi gaussienne dans le point  $x$ .

15

9.- Procédé selon la revendication 7 ou 8, dans lequel les deuxièmes coefficients pour frontière haute ( $K_{FFR,dim}$ ) sont déterminés selon la relation suivante :

$$K_{FFR,dim} = Q^{-1} \left( \frac{P_{HMI,dim} - P_{faults\ not\ monitored,dim}}{p_{fault}^{(j)} (N_{fault} + 1)} \right);$$

où

20  $K_{FFR,dim}$  est un deuxième coefficient pour frontière basse selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{HMI,dim}$  est la première valeur d'erreur selon la dimension donnée  $dim$  ;

$P_{faults\ not\ monitored,dim}$  est la somme des probabilités d'occurrence des pannes non-surveillées selon la dimension donnée  $dim$  ;

$N_{fault}$  est le nombre de pannes surveillées correspondant ;

25  $j$  est l'indice d'une panne surveillée variant de 1 à  $N_{fault}$  ;

$p_{fault}^{(j)}$  est la probabilité d'occurrence de la panne ayant l'indice  $j$  ; et

$Q^{-1}(x)$  est la fonction inverse de la fonction de répartition de la loi gaussienne dans le point  $x$ .

10.- Procédé selon les revendications 5 et 6 et l'une quelconque des revendications 7 à 9, dans lequel lors de la phase principale ( $P_1$ ), le niveau de protection correspondant ( $PL_{dim}$ ) est déterminé à partir de la relation d'intégrité par la méthode de dichotomie en partant d'une frontière basse ( $PL_{low,dim}$ ) et d'une frontière haute ( $PL_{hi,dim}$ ) ;

5 la frontière basse ( $PL_{low,dim}$ ) étant déterminée en fonction du premier et des deuxièmes coefficients pour frontière basse ( $K_{FF(0),dim}, K_{FF,dim}$ ) correspondant au nombre courant de pannes surveillées ( $N_{fault}$ ) et à la dimension donnée ( $dim$ ) ;

10 la frontière haute ( $PL_{low,dim}$ ) étant déterminée en fonction du premier et des deuxièmes coefficients pour frontière haute ( $K_{FFR(0),dim}, K_{FFR,dim}$ ) correspondant au nombre courant de pannes surveillées ( $N_{fault}$ ) et à la dimension donnée ( $dim$ ).

11.- Produit programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsque mis en œuvre par un équipement informatique, met en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.

15

12.- Récepteur (14) comportant des moyens configurés pour mettre en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.

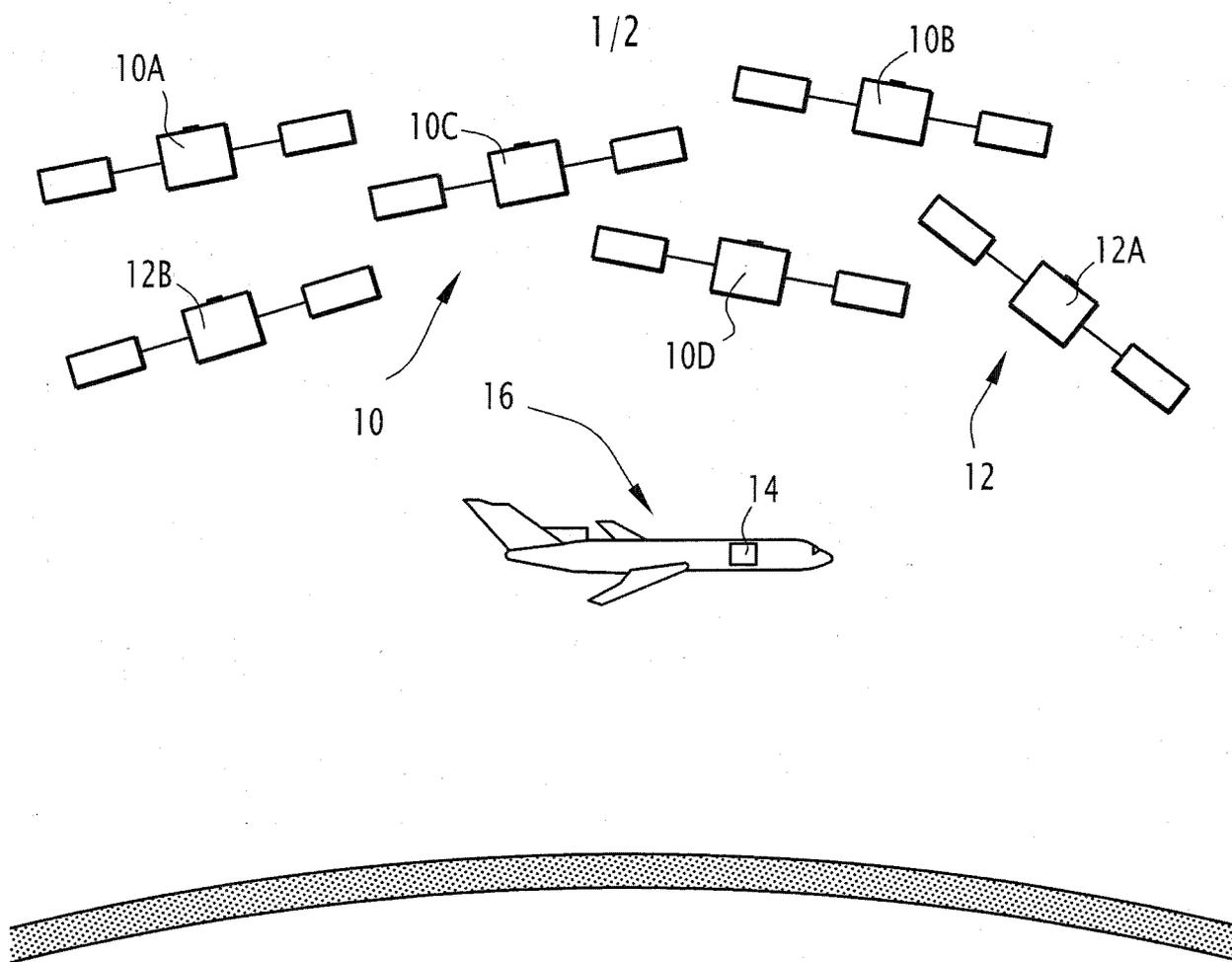


FIG. 1

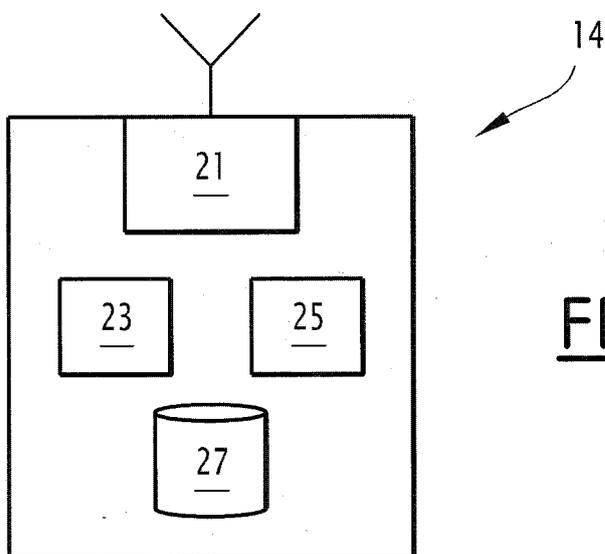
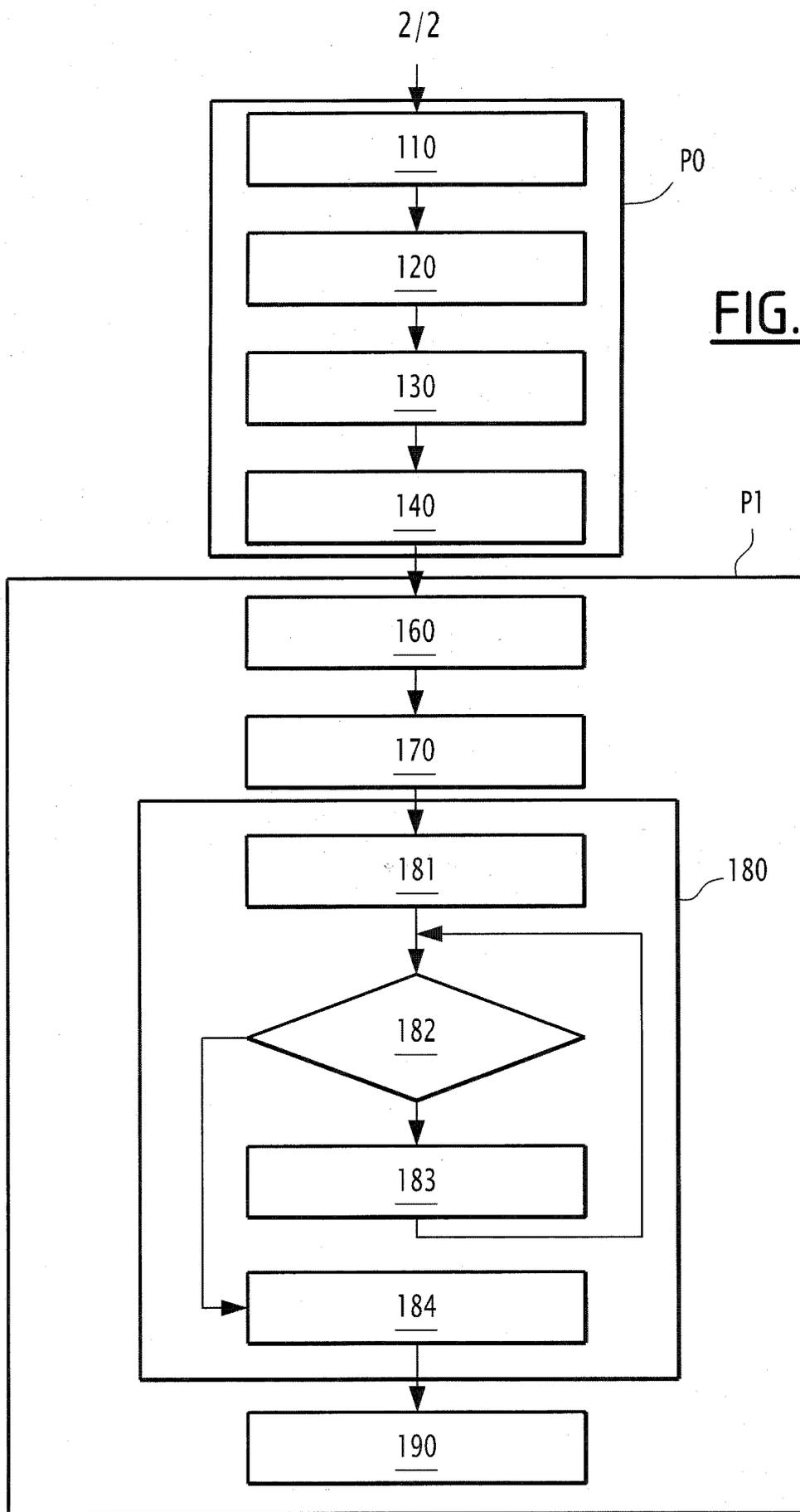


FIG. 2



**FIG. 3**



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 840811  
FR 1700369

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		
Y	BLANCH JUAN ET AL: "Baseline advanced RAIM user algorithm and possible improvements", IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 51, no. 1, 1 janvier 2015 (2015-01-01), pages 713-732, XP011577837, ISSN: 0018-9251, DOI: 10.1109/TAES.2014.130739 [extrait le 2015-03-30] * le document en entier *	1-12	G01S19/02
Y	EP 2 461 182 A1 (EUROP AGENCE SPATIALE [FR]) 6 juin 2012 (2012-06-06) * abrégé *	1-12	
A	BLANCH J ET AL: "Exclusion for Advanced RAIM: Requirements and a Baseline Algorithm", ITM 2014 - PROCEEDINGS OF THE 2014 INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 8551 RIXLEW LANE SUITE 360 MANASSAS, VA 20109, USA, 29 janvier 2014 (2014-01-29), pages 99-107, XP056008067, * le document en entier *	1-12	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
26 janvier 2018		Ribbe, Jonas	
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 1700369 FA 840811**

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 **26-01-2018**

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
EP 2461182	A1	06-06-2012	EP 2461182 A1	06-06-2012
			ES 2498720 T3	25-09-2014
			US 2012146851 A1	14-06-2012
-----				