

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 03.05.17.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 09.11.18 Bulletin 18/45.

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) : CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES — FR, INSTITUT SUPERIEUR DE L'AERONAUTIQUE ET DE L'ESPACE (ISAE) — FR, M3 SYSTEMS — FR, INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE — FR et CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE — FR.

72 Inventeur(s) : MARMET FRANCOIS-XAVIER, VIGNEAU WILLY, SAHMOUDI MOHAMED, LESOUPLE JULIEN et TOURNERET JEAN-YVES.

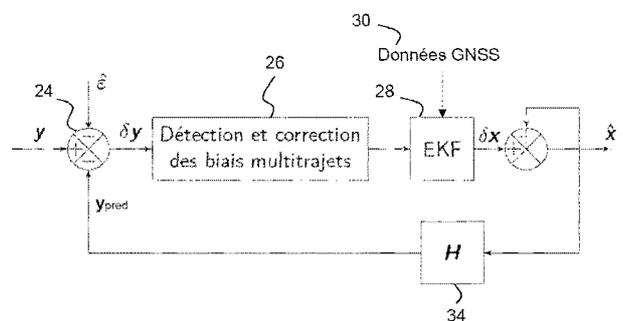
73 Titulaire(s) : CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES, INSTITUT SUPERIEUR DE L'AERONAUTIQUE ET DE L'ESPACE (ISAE), M3 SYSTEMS, INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.

74 Mandataire(s) : CABINET GERMAIN ET MAUREAU.

54 PROCEDE DE POSITIONNEMENT PAR GNSS.

57 Le procédé de positionnement comprend l'estimation d'un ensemble de biais multitrajets sur la base d'un modèle théorique des écarts entre les pseudo-distances mesurées et les pseudo-distances estimées. Le modèle comprend un terme de géométrie dépendant de la position du récepteur GNSS et des émetteurs GNSS et un terme additif représentant l'ensemble desdits biais. Les inconnues du modèle comprennent la position courante du récepteur GNSS et lesdits biais. L'estimation des biais repose sur une minimisation des résidus entre les écarts et le modèle théorique, en fonction des inconnues, sous la contrainte que l'ensemble des biais doit être parcimonieux. Les pseudo-distances mesurées sont corrigées sur base des biais estimés et une position courante du récepteur GNSS est prédite sur la base des pseudo-distances mesurées ainsi corrigées.

L'invention permet de réduire l'impact des multi-trajets sur la solution de positionnement et donc d'en améliorer l'exactitude.



Domaine Technique

[0001] De manière générale, l'invention concerne un procédé de positionnement par GNSS (acronyme de « Global Navigation Satellite System », système de positionnement par satellites), plus particulièrement un procédé adapté aux environnements caractérisés par la présence de multi-trajets. Un autre aspect de l'invention concerne un navigateur GNSS configuré pour la mise en œuvre du procédé.

Arrière-plan technologique

[0002] L'invention s'intéresse à la problématique des multi-trajets. Le problème se pose surtout en milieu urbain, mais pas exclusivement. Le terme « multi-trajet » vise les effets qui résultent de la réception de signaux GNSS qui, sur leur parcours entre l'émetteur et le récepteur, ont été réfléchis par une surface. Ces signaux réfléchis peuvent se superposer aux signaux ayant suivi la ligne de mire (en anglais : « line of sight » ou « LOS ») entre leur émetteur et le récepteur ou, en cas de masquage, se substituer à ces signaux. La topographie des villes et des agglomérations favorise l'occurrence de multi-trajets et de masquage de satellites, notamment à cause des façades verticales en bordure des espaces fréquentés par les utilisateurs des GNSS.

[0003] Le problème des multi-trajets est d'autant plus important le plus grand nombre d'utilisateurs de GNSS (comme p.ex. GPS, GLONASS, COMPASS et GALILEO) se trouvent en milieu urbain. En outre, la densité géographique des chemins empruntables par les utilisateurs fait qu'une erreur de positionnement peut facilement se répercuter au niveau du navigateur et être perceptible par l'utilisateur.

[0004] Différentes stratégies existent pour assurer la détection des multi-trajets. Le brevet US 5 917 445 propose un test de détection de multi-trajets qui combine des mesures de la phase porteuse et des pseudo-distances réalisées avec plusieurs antennes GNSS espacées entre elles. L'ensemble des mesures disponibles est hautement redondant en cas de fonctionnement normal. Si un multi-trajet est détecté pour un signal particulier, les mesures en rapport avec ce signal ne sont pas prises en considération pour le positionnement. Cette solution nécessitant plusieurs antennes et des traitements indépendants des différents signaux reçus, elle n'est pas applicable aux récepteurs GNSS destinés au grand public.

[0005] L'article de M. Irsigler et G. W. Hein, *Development of a Real-Time Multipath Monitor Based on Multi-Correlator Observations*, Proceedings of the 18th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GNSS 2005, propose une méthode de détection des multi-trajets basée sur l'observation de la forme du pic de corrélation. Plusieurs points de corrélation sont mesurés et à partir de ceux-ci divers métriques sont établies. Pour chacune de ces métriques un test de détection est mis en place pour vérifier si cette dernière s'écarte trop de sa valeur théorique obtenue en absence de multi-trajets.

[0006] L'article d'O. M. Mubarak et A. G. Dempster, *Exclusion of Multipath-Affected Satellites Using Early Late Phase*, Journal of Global Positioning System, 2010, Vol. 9, No.2 :145-155, propose un test de détection de multi-trajets utilisant la différence de phase des points de corrélation « Early » (en avance) et « Late » (en retard), nommée ELP (« Early Late Phase »). Le test utilise les voies I et Q des corrélateurs et suppose que la mesure ELP a une amplitude non-nulle en présence de multi-trajets.

[0007] D'autres procédés de détection de multi-trajets exploitent le fait que la réflexion change la polarisation des signaux GNSS.

[0008] Les signaux de radionavigation émis par des satellites (ou pseudolites) d'un GNSS se présentent sous la forme d'une porteuse modulée par une forme d'onde d'étalement contenant un code binaire pseudo-aléatoire. La modulation de la porteuse provoquant l'étalement du spectre autour de la fréquence de la porteuse, les signaux de radionavigation sont souvent appelés « en spectre étalé ». Les codes pseudo-aléatoires représentent un identificateur du signal et donc du satellite émetteur. Connus des récepteurs, ils permettent à ceux-ci un Accès Multiple à Répartition de Code (AMRC). A l'exception des signaux « pilotes », les signaux GNSS transportent en outre des données utiles (p. ex. le message de navigation) sous forme d'une séquence binaire (à rythme nettement moins élevé que le code pseudo-aléatoire) modulée en plus sur la porteuse.

[0009] La réception d'un signal de radionavigation comprend sa démodulation à l'aide d'une réplique de la porteuse générée dans le récepteur par un oscillateur piloté par une boucle de poursuite de porteuse (ou boucle de poursuite de phase) et d'une réplique de la forme d'onde d'étalement (ou réplique de code) produite par un générateur de forme d'onde piloté par une boucle de poursuite de code. Le signal d'écart de phase entre la porteuse du signal entrant et la réplique de porteuse fournit

à chaque pas de temps une première observable (l'observable de phase). Le signal de décalage temporel entre la forme d'onde d'étalement du signal entrant et la réplique de code produit à chaque pas de temps représente une deuxième observable (l'observable de code). Les observables de phase et de code sont ensuite utilisées
5 pour estimer la pseudo-distance et la delta-distance (en anglais « delta range »). Une delta-distance équivaut à une estimation indépendante de la dérivée de la pseudo-distance correspondante. Les étapes sont réalisées en parallèle sur les différents canaux du récepteur pour les différents signaux. L'ensemble des pseudo-distances et des delta-distances sont ensuite amenées dans le navigateur qui les combine et en
10 dérive une estimation de la position, de la vitesse, du temps, etc.

[0010] Les techniques de détection de multi-trajets identifiées ci-dessus sont réalisées au niveau du récepteur GNSS et nécessitent l'accès aux boucles de poursuite ou au moins la connaissance de certains paramètres internes du récepteur. L'implémentation des techniques connues demande donc des modifications de
15 l'architecture du récepteur, ce qui implique un effort considérable en termes de développement. En outre des adaptations sont nécessaires pour chaque type de récepteur.

[0011] La présente invention a pour objectif de proposer une solution qui peut être adaptée plus facilement à plusieurs types de récepteurs GNSS.

20 **Description générale de l'invention**

[0012] Un premier aspect de l'invention concerne un procédé de positionnement par GNSS, comprenant:

- l'obtention de mesures GNSS réalisées par un récepteur GNSS, les mesures comprenant un ensemble de pseudo-distances entre le récepteur GNSS et des
25 émetteurs GNSS sur des satellites ;
- l'estimation d'un ensemble de pseudo-distances prédites sur la base d'une position précédente du récepteur GNSS ;
- l'estimation d'un ensemble de biais susceptibles d'être causés par des multi-trajets (ci-après aussi appelés « biais multi-trajets ») sur la base d'un modèle
30 théorique des écarts entre les pseudo-distances mesurées et les pseudo-distances estimées, le modèle comprenant un terme de géométrie dépendant

- de la position du récepteur GNSS et des émetteurs GNSS et un terme additif représentant l'ensemble desdits biais, les inconnues du modèle comprenant la position courante du récepteur GNSS et lesdits biais ; l'estimation des biais reposant sur une minimisation des résidus entre les écarts et le modèle théorique des écarts, en fonction des inconnues du modèle, sous la contrainte que l'ensemble des biais doit être parcimonieux (« contrainte de parcimonie ») ;
- la correction des pseudo-distances mesurées sur base des biais estimés ; et
 - la prédiction d'une position courante du récepteur GNSS ayant réalisé les mesures GNSS sur la base des pseudo-distances mesurées ainsi corrigées.
- 10 **[0013]** Le procédé repose sur le fait que la présence de multi-trajet sur un signal GNSS se répercute dans la pseudo-distance mesurée associée comme un biais additif. Pour réduire l'effet des multi-trajets, ces biais peuvent être estimés et soustraits des pseudo-distances et delta-distances concernées. L'article A. Giremus, J.-Y. Tourneret et V. Calmettes, « A particle filtering approach for joint detection/estimation of multipath effects on GNSS measurements, » IEEE Trans. Signal Processing, 15 vol. 55, no. 4, pp. 1275-1285, avril 2007, décrit des méthodes Monte-Carlo séquentielles (ou filtre particulière) pour la réalisation de cette estimation. Toutefois, ces méthodes étant très coûteuses en termes d'efforts de calcul, leur implémentation en temps réel est très compliquée sinon impossible dans des applications pratiques.
- 20 Le procédé selon le premier aspect de l'invention impose une contrainte de parcimonie sur les composantes du vecteur représentant les biais additifs. En d'autres mots, le procédé admet que la majorité des biais soient nuls. Cette hypothèse revient à supposer que la plupart des signaux GNSS reçus ne sont pas affectés par des multi-trajets ou que leurs effets peuvent être négligés pour la plupart des signaux GNSS.
- 25 **[0014]** La contrainte de parcimonie peut prévoir que plus que le quart, préférablement plus que la moitié, encore plus préférablement plus de deux tiers, toujours plus préférablement plus que trois quarts et le plus préférablement plus que quatre cinquièmes, des biais susceptibles d'être causés par des multi-trajets soient nuls (dans la mesure de la tolérance).
- 30 **[0015]** Un avantage intéressant du procédé selon le premier aspect de l'invention réside dans le fait qu'un traitement des multi-trajets au niveau du récepteur GNSS (c.-à-d. au niveau des boucles de poursuite) n'est pas nécessaire et éventuellement

même contre-indiquée. Le présent procédé intervient en aval du récepteur GNSS, au niveau de l'étage normalement appelé « le navigateur. » Une modification de l'architecture (matérielle) du récepteur GNSS ou l'accès à des paramètres internes du récepteur ne sont donc pas nécessaires. Un autre avantage est qu'il existe un standard
5 pour le format des données numériques produites en sortie du récepteur. La plupart des récepteurs respectent en effet le format RINEX (du terme anglais « Receiver Independent Exchange Format », format d'échange indépendant du récepteur). On note que le traitement des données produites par le récepteur se fait généralement au niveau logiciel (à l'aide d'un processeur à usage général ou d'un processeur
10 spécialisé). L'implémentation du procédé de cette invention est donc relativement facile, p.ex. par une mise à jour du microprogramme (« firmware ») des jeux de puces (« chipsets ») GNSS existants.

[0016] La minimisation des résidus repose de préférence sur le critère des moindres carrés (la somme des carrés des résidus, c.-à-d. la norme ℓ_2 , est minimisée), la
15 contrainte de parcimonie étant implémentée comme une pénalisation qui augmente avec le nombre de biais multi-trajets non nuls.

[0017] Selon un mode de réalisation du procédé, l'estimation de l'ensemble des biais utilise un opérateur LASSO (acronyme du terme anglais « least absolute shrinkage and selection operator », opérateur de sélection et de rétrécissement par moindre
20 valeur absolue). L'opérateur LASSO permet, dans le cas de ce procédé, la régression avec le double objectif de minimiser les résidus et d'effectuer une sélection des biais multi-trajets directement lors de l'estimation de la position.

[0018] Selon un mode de réalisation préféré du procédé, l'estimation de l'ensemble des biais multi-trajets comprend une pénalisation de signaux en provenance
25 d'émetteurs GNSS sur des satellites à basse élévation par rapport à des signaux en provenance d'émetteurs GNSS sur des satellites à haute élévation. La pénalisation d'un signal est choisie de sorte à augmenter la probabilité qu'un biais multi-trajet soit détecté sur ce signal si le signal provient d'un satellite ayant une élévation basse. En d'autres mots, on applique une pondération des signaux qui favorise la détection de
30 multi-trajets sur les signaux qui proviennent de satellites éloignés du zénith.

[0019] De manière alternative ou additionnellement, l'estimation de l'ensemble des biais peut comprendre une pénalisation de signaux présentant un rapport C/N_0 faible

par rapport à des signaux présentant un rapport C/N_0 élevé. Dans ce cas, la pénalisation d'un signal est donc choisie de sorte à augmenter la probabilité qu'un biais multi-trajet soit détecté sur ce signal si le signal présentant un rapport C/N_0 élevé. Il est possible de combiner la pénalisation basée sur l'élévation et celle qui est basée sur le rapport C/N_0 .

[0020] Il est également possible que l'estimation de l'ensemble des biais comprenne une pénalisation de signaux préalablement affectés par des multi-trajets. Il est possible de combiner cette pénalisation avec les pénalisations basées sur l'élévation et le rapport C/N_0 .

[0021] Les choix de pénalisation sont justifiés par les constats que des signaux en provenance de satellites proches de l'horizon ont généralement une probabilité plus élevée d'être réfléchis sur le chemin parcouru entre le satellite et le récepteur. On observe également qu'un multi-trajet a tendance à aller de pair avec un rapport C/N_0 faible. Finalement, si un multi-trajet est détecté sur un signal GNSS donné à un instant, il y a de fortes chances que le signal reste affecté de multi-trajet l'instant d'après.

[0022] Selon un mode de réalisation du procédé, l'estimation des biais utilise un paramètre de régularisation pour mettre en œuvre la contrainte de parcimonie, le paramètre de régularisation étant ajustable pour relâcher ou donner plus d'importance à ladite contrainte (c.-à-d. pour tolérer que plus ou moins de biais multi-trajet soient non nuls). Le paramètre de régularisation pourrait être ajusté de manière dynamique, p.ex. en fonction de la position du récepteur GNSS. Dans des zones cartographiées, on pourrait, p.ex. utiliser un paramètre reflétant l'angle solide que le ciel ouvert occupe à une position donnée, un paramètre reflétant la hauteur moyenne des bâtiments, un degré d'urbanisation (p.ex. l'indicateur DEGURBA). Le paramètre de régularisation pourrait également être ajusté en fonction des bruits C/N_0 . On notera toutefois que la contrainte de parcimonie ne saurait être relâchée au point d'être dénudée de sens : le nombre de biais multi-trajet non nuls doit rester bien en-deçà du nombre des mesures.

[0023] De préférence, les mesures GNSS réalisées par le récepteur GNSS sont obtenues au format RINEX.

[0024] De préférence, l'estimation des pseudo-distances prédites repose non seulement sur une position précédente mais également sur une vitesse précédente et un biais récepteur du récepteur GNSS. (On désigne par « biais récepteur » l'écart

entre l'horloge interne du récepteur et une horloge de référence, p.ex. le temps GNSS.) Dans ce cas, le terme de géométrie du modèle utilisé pour l'estimation des biais multi-trajet dépend également de la vitesse et du biais récepteur du récepteur GNSS ainsi que de la position et de la vitesse des émetteurs GNSS (c.-à-d. des satellites), et les
5 inconnues du modèle comprennent en outre la vitesse et le biais récepteur actuels du récepteur GNSS.

[0025] Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, la prédiction d'une position courante du récepteur GNSS ayant réalisé les mesures GNSS est réalisée par un filtre de Kalman (étendu) utilisant les pseudo-distances mesurées et corrigées
10 pour mettre à jour l'état prédit.

[0026] Selon un mode de réalisation préféré, le procédé fonctionne en temps réel. En d'autres termes, le procédé est réalisé de telle façon à respecter strictement des contraintes de temps prédéfinies, en particulier le retard maximal (p. ex. 1 seconde) que les résultats peuvent accumuler avant de parvenir à l'utilisateur (p. ex. un
15 automobiliste).

[0027] Un deuxième aspect de l'invention concerne un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé tel que décrit, lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.

[0028] Un troisième aspect de l'invention concerne un navigateur GNSS, comprenant
20 une mémoire et un processeur, ainsi que des instructions de code de programme enregistrés dans la mémoire et accessibles par ledit processeur, le processeur effectuant le procédé décrit lorsqu'il exécute les instructions de code de programme.

[0029] Le navigateur GNSS peut comprendre ou être relié à un récepteur GNSS configuré pour obtenir les mesures GNSS et les mettre à disposition du processeur
25 lorsque les instructions de code de programme sont exécutées.

Brève description des dessins

[0030] D'autres particularités et caractéristiques de l'invention ressortiront de la description détaillée de certains modes de réalisation avantageux présentés ci-dessous, à titre d'illustration, avec référence aux dessins annexés qui montrent :

30 Fig. 1: le schéma d'un appareil de positionnement selon un premier mode de réalisation ;

Fig. 2: le schéma d'un appareil de positionnement selon un deuxième mode de réalisation ;

Fig. 3: le schéma d'un procédé de positionnement selon un aspect de l'invention.

Description détaillée d'un mode de réalisation de l'invention

5 **[0031]** La tâche principale d'un navigateur GNSS consiste à trouver une solution au problème de navigation. Une solution comprend la position, le temps et, optionnellement, le vecteur vitesse du récepteur. Si la vitesse est estimée, on parle aussi de solution « PVT » (position, vitesse et temps). Afin de trouver la solution au problème de navigation, le navigateur GNSS se base sur des mesures GNSS,
10 comprenant des pseudo-distances, fournies par le récepteur GNSS.

[0032] Un récepteur GNSS fournit, pour chaque signal GNSS qu'il poursuit, une pseudo-distance définie par :

$$\rho^i = \|\mathbf{x}^i - \mathbf{x}_{RX}\|_2 + b + \varepsilon^i, \quad (\text{Eq. 1})$$

où :

- 15 l'exposant i identifie le satellite qui a envoyé le signal GNSS ($i = 1, \dots, N$, N étant le nombre de satellites « visibles » par le récepteur),
- ρ^i représente la pseudo-distance mesurée entre le récepteur (RX) et le satellite i par une mesure dite « de code » ;
 - \mathbf{x}^i est la position (connue) du satellite i à l'émission du signal GNSS reçu par le
20 récepteur : $\mathbf{x}^i = (x^i, y^i, z^i)^T$;
 - \mathbf{x}_{RX} est la position du récepteur (qui doit être estimée) à la réception du signal : $\mathbf{x}_{RX} = (x, y, z)^T$;
 - $\|\cdot\|_2$ est la distance géométrique (norme ℓ_2) ;
 - b est le biais récepteur (inconnu a priori), exprimé en unités de longueur ; et
 - 25 ○ ε^i est un terme d'erreur associé au signal en provenance du satellite i : ce terme inclut notamment le délai troposphérique, le délai ionosphérique, le biais émetteur i (c.-à-d. l'écart entre l'horloge interne du satellite i et une horloge de référence, p.ex. le temps GNSS), l'incertitude de la position du satellite i , l'effet du multi-trajet et tout bruit non modélisé.

[0033] On note que ρ^i diffère de la distance géométrique par les termes b et ε^i , d'où la désignation de « pseudo-distance ».

[0034] On peut estimer une position courante du récepteur en linéarisant l'Eq. 1 autour d'une position précédemment estimée par le navigateur GNSS (p.ex. la dernière position estimée par le navigateur). On trouve une expression de la forme :

$$\mathbf{y}_p = \mathbf{G} \mathbf{x} + \mathbf{m}_p + \mathbf{n}_p, \quad (\text{Eq. 2})$$

où :

- \mathbf{y}_p ($\in \mathbb{R}^N$) est la différence entre la pseudo-distance mesurée et la pseudo-distance précédemment estimée ;
- \mathbf{G} ($\in \mathbb{R}^{N \times 4}$) est la matrice jacobienne associée au système linéarisé ;
- \mathbf{x} ($\in \mathbb{R}^4$) est la différence entre l'état (position et biais récepteur) estimé à l'instant précédent et l'état actuel ;
- \mathbf{m}_p ($\in \mathbb{R}^N$) est un vecteur de biais multi-trajet ; et
- \mathbf{n}_p ($\in \mathbb{R}^N$) est un vecteur de bruit gaussien.

[0035] La matrice \mathbf{G} peut être exprimée comme :

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} a_1^1 & a_2^1 & a_3^1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_1^N & a_2^N & a_3^N & 1 \end{bmatrix}, \quad (\text{Eq. 3})$$

où :

$$[a_1^i, a_2^i, a_3^i]^T = \frac{\mathbf{x}_0 - \mathbf{x}^i}{\|\mathbf{x}_0 - \mathbf{x}^i\|}, \quad (\text{Eq. 4})$$

\mathbf{x}_0 étant la position de référence autour de laquelle l'expression Eq. 1 a été linéarisée.

[0036] Par différentiation de l'expression Eq. 1 par rapport au temps, on obtient :

$$\dot{\rho}^i = [a_1^i, a_2^i, a_3^i](\dot{\mathbf{x}}_{RX} - \dot{\mathbf{x}}^i) + \dot{b} + \varepsilon^i. \quad (\text{Eq. 5})$$

[0037] Il convient de noter que la grandeur $\dot{\rho}^i$ est mesurée indépendamment de la pseudo-distance ρ^i ; on l'appelle « observable de phase », « observable de porteuse », « delta-distance » ou encore « observable Doppler ». On a, en effet, $\dot{\rho}^i = -\lambda_{\text{porteuse}} \Delta f^i$, où Δf^i est le décalage Doppler mesuré pour le signal i et $\lambda_{\text{porteuse}}$ est

la longueur d'onde nominale de la porteuse du signal. Par linéarisation de l'Eq. 5, on obtient une expression similaire à l'Eq. 2 :

$$\mathbf{y}_r = \mathbf{G} \dot{\mathbf{x}} + \mathbf{m}_r + \mathbf{n}_r, \quad (\text{Eq. 6})$$

où:

- 5 ○ $\mathbf{y}_r (\in \mathbb{R}^N)$ est la différence entre l'observable de phase mesurée et l'observable de phase précédemment estimée ;
- $\dot{\mathbf{x}} (\in \mathbb{R}^4)$ est la différence entre l'état (vecteur vitesse et dérive de l'horloge du récepteur) estimé à l'instant précédent et l'état actuel ;
- $\mathbf{m}_r (\in \mathbb{R}^N)$ est un vecteur de biais multi-trajet ; et
- 10 ○ $\mathbf{n}_r (\in \mathbb{R}^N)$ est un vecteur de bruit gaussien.

[0038] Selon l'invention la résolution du problème de navigation se fait sous la contrainte que le vecteur des biais multi-trajet $\mathbf{m} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}_p \\ \mathbf{m}_r \end{bmatrix}$ soit un vecteur parcimonieux.

[0039] Pour simplifier les expressions, une autre notation sera appliquée par la suite. Un vecteur d'état \mathbf{x} sera exprimé de la façon suivante :

$$15 \quad \mathbf{x} = (x, \dot{x}, y, \dot{y}, z, \dot{z}, b, \dot{b})^T, \quad (\text{Eq. 7})$$

où $(x, y, z)^T$ est le vecteur position du récepteur, $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})^T$ le vecteur vitesse du récepteur, b le biais récepteur et \dot{b} la dérive de l'horloge récepteur.

[0040] Si on note $\delta \mathbf{y} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_p \\ \mathbf{y}_r \end{bmatrix}$ et $\mathbf{n} = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_p \\ \mathbf{n}_r \end{bmatrix}$, les équations 2 et 6 deviennent :

$$\delta \mathbf{y} = \mathbf{H} \delta \mathbf{x} + \mathbf{m} + \mathbf{n}, \quad (\text{Eq. 8})$$

- 20 où \mathbf{H} est la matrice jacobienne (ou matrice des cosinus directeurs) et $\delta \mathbf{x}$ est la différence entre le vecteur d'état à l'instant actuel et le vecteur d'état à l'instant précédent.

[0041] Pour estimer les biais multi-trajet impactant les mesures de code et de phase, on minimise l'expression suivante :

$$25 \quad \arg \min_{\delta \mathbf{x}, \mathbf{m}} \frac{1}{2} \|\delta \mathbf{y} - \delta \mathbf{y}_{th}(\delta \mathbf{x}, \mathbf{m})\|_2^2 + \lambda \|\mathbf{W} \mathbf{m}\|_1, \quad (\text{Eq. 9})$$

où $\delta \mathbf{y}_{th}(\delta \mathbf{x}, \mathbf{m}) = \mathbf{H} \delta \mathbf{x} - \mathbf{m}$ est un modèle théorique de l'écart entre l'état mesuré et l'état estimé, \mathbf{W} est une matrice diagonale de pénalisation ayant la dimension $2N \times$

$2N$, $\|\cdot\|_1$ est la norme ℓ_1 et λ est un paramètre de régularisation. Le dernier terme de l'Eq. 9 traduit la contrainte que l'ensemble des biais doit être parcimonieux.

[0042] La matrice diagonale \mathbf{W} peut pénaliser les signaux en provenance d'émetteurs GNSS sur des satellites à basse élévation par rapport à des signaux en provenance d'émetteurs GNSS sur des satellites à haute élévation. Les éléments diagonaux de \mathbf{W} pourraient alors prendre la forme suivante :

$$W_{i,i} = W_{i+N,i+N} = \sin(\text{Elev}_i) \quad (i = 1, \dots, N), \quad (\text{Eq. 10})$$

où Elev_i est l'élévation de l'émetteur GNSS lors de l'émission du signal GNSS.

[0043] Une autre possibilité serait de définir les éléments diagonaux de \mathbf{W} par :

$$W_{i,i} = W_{i+N,i+N} = \begin{cases} \frac{\sin^2(\text{Elev}_i)}{\sin^2(\text{Elev}_{\text{seuil}})} & \text{si } \text{Elev}_i < \text{Elev}_{\text{seuil}} \\ 1 & \text{si } \text{Elev}_i \geq \text{Elev}_{\text{seuil}} \end{cases} \quad (i = 1, \dots, N), \quad (\text{Eq. 10}')$$

où $\text{Elev}_{\text{seuil}}$ est une élévation-seuil ; p.ex., $\text{Elev}_{\text{seuil}} = 5^\circ$ ou 10° . Cette expression a été proposée dans l'article E. Realini et. al, Meas. Sci. Technol. 24, 115010 (2013).

[0044] La matrice diagonale \mathbf{W} peut alternativement ou additionnellement pénaliser les signaux présentant un rapport C/N_0 faible par rapport à des signaux présentant un rapport C/N_0 élevé. Les éléments diagonaux de \mathbf{W} pourraient alors prendre la forme suivante :

$$W_{i,i} = W_{i+N,i+N} = \frac{C/N_{0,i}}{\max_j C/N_{0,j}} \quad (i, j = 1, \dots, N). \quad (\text{Eq. 11})$$

[0045] Une autre possibilité serait de définir les éléments diagonaux de \mathbf{W} par (voir l'article E. Realini et. al) :

$$W_{i,i} = W_{i+N,i+N} = \begin{cases} 10^{\frac{\xi_i - T}{a}} \left[\left(A * 10^{\frac{F-T}{a}} - 1 \right) \frac{\xi_i - T}{F-T} + 1 \right]^{-1} & \text{si } \xi_i < T \\ 1 & \text{si } \xi_i \geq T \end{cases}, \quad (\text{Eq. 11}')$$

pour $i = 1, \dots, N$ et où $\xi_i = C/N_{0,i}$, T est un seuil, a , A et F sont des paramètres de réglages. P. ex. : $(T, a, F, A) = (45, 80, 20, 1/30)$.

[0046] La matrice diagonale \mathbf{W} peut aussi pénaliser de signaux préalablement affectés par du multi-trajet précédemment. Les éléments diagonaux de \mathbf{W} pourraient alors prendre la forme suivante :

$$W_{i,i} = W_{i+N,i+N} = 1 - \frac{b_{i,t-1}}{\max_j b_{j,t-1}} \quad (i, j = 1, \dots, N), \quad (\text{Eq. 12})$$

où $b_{i,t-1}$ est le biais estimé précédemment affectant le signal provenant de l'émetteur GNSS i .

[0047] Selon un mode de réalisation préféré, les pénalisations décrites ci-dessus sont combinées. Les éléments diagonaux de \mathbf{W} pourraient alors prendre la forme suivante :

$$5 \quad W_{ii} = W_{i+N,i+N} = \sin(\text{Elev}_i) \frac{C/N_{0,i}}{\max_j C/N_{0,j}} \left(1 - \frac{b_{i,t-1}}{\max_j b_{j,t-1}} \right) \quad (i, j = 1, \dots, N), \quad (\text{Eq. 13})$$

qui correspond à la multiplication des éléments diagonaux des Eqs. 10, 11 et 12. Alternativement, les éléments diagonaux donnés aux Eqs. 10', 11' et 12, Eqs. 10, 11' et 12 ou Eqs. 10', 11 et 12 pourraient être multipliés.

[0048] Il sera apprécié qu'une pénalisation différente pourrait être affectée à l'observable de code et à l'observable de phase.

[0049] Le paramètre de régularisation λ peut être fixe ou ajusté de manière dynamique en fonction de la position du récepteur GNSS, p. ex. sur base de l'indicateur DEGURBA, et/ou par validation croisée. Le paramètre de régularisation permet de relâcher ou donner plus d'importance à ladite contrainte, c.-à-d. pour tolérer que plus ou moins de biais multi-trajets soient non nuls.

[0050] La solution de minimisation de l'Eq. 9 selon $\delta\mathbf{x}$ admet une expression explicite : $\delta\mathbf{x} = (\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T (\delta\mathbf{y} - \mathbf{m})$. Cette expression correspond à la solution, sans contrainte, au sens des moindres carrés pour des mesures $(\delta\mathbf{y} - \mathbf{m})$. Après injection de cette solution pour $\delta\mathbf{x}$ dans l'Eq. 9, la minimisation peut être reformulée de la façon suivante :

$$\arg \min_m \frac{1}{2} \|(\mathbf{I}_{2N} - \mathbf{P})(\delta\mathbf{y} - \mathbf{m})\|_2^2 + \lambda \|\mathbf{W}\mathbf{m}\|_1, \quad (\text{Eq. 14})$$

où \mathbf{I}_{2N} est la matrice identité ayant une dimension $2N \times 2N$ et $\mathbf{P} = \mathbf{H}(\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T$. De plus, en définissant :

$$\delta\tilde{\mathbf{y}} = (\mathbf{I}_{2N} - \mathbf{P})\delta\mathbf{y}, \quad (\text{Eq. 15})$$

$$25 \quad \tilde{\mathbf{H}} = (\mathbf{I}_{2N} - \mathbf{P})\mathbf{W}^{-1}, \quad (\text{Eq. 16})$$

$$\boldsymbol{\theta} = \mathbf{W}\mathbf{m}, \quad (\text{Eq. 17})$$

il est finalement possible de réécrire le problème de minimisation défini à l'Eq. 9 de la façon suivante :

$$\arg \min_{\theta} \frac{1}{2} \|\delta\tilde{y} - \tilde{H}\theta\|_2^2 + \lambda \|\theta\|_1. \quad (\text{Eq. 18})$$

[0051] Dans l'hypothèse où m est un vecteur parcimonieux, θ est bien un vecteur parcimonieux lui aussi car la matrice W est diagonale. Le problème de minimisation de l'Eq. 18 a une forme permettant d'utiliser l'algorithme LASSO pour trouver une solution. Après avoir trouvé une solution $\hat{\theta}$, il suffit d'inverser l'Eq. 17 pour obtenir le vecteur \hat{m} des biais multi-trajets estimés : $\hat{m} = W^{-1}\hat{\theta}$.

[0052] La Fig. 1 illustre système de positionnement 10 selon un mode de réalisation de l'invention. Le système 10 comprend une antenne radiofréquence 12 configurée pour recevoir des signaux radiofréquence dans l'espace (p. ex. les signaux dans la bande de fréquences L1 et/ou L5). L'antenne 12 est connectée à un processeur 14 de signaux GNSS (p.ex. un jeu de puces GNSS). Le processeur 14 traite les signaux GNSS de l'antenne 12 afin d'obtenir une solution PVT du problème de navigation. Le traitement des signaux par le processeur 14 est réalisé en plusieurs étapes. Un étage de tête radiofréquence (« RF front end » en anglais) est connecté à l'antenne 12 et convertit les signaux GNSS reçus par l'antenne 12 en signaux numérisés en bande de base (signaux dits « IQ » pour « in-phase » et « quadrature » en anglais). Un processeur bande de base 18 (« baseband processor » en anglais) ou « récepteur GNSS » acquiert et poursuit les signaux GNSS en provenance des différents satellites et fournit les mesures GNSS correspondantes. Les mesures GNSS comprennent les observables GNSS (notamment les observables de code, respectivement de phase), le rapport C/N₀. Le processeur bande de base 18 peut également extraire les données des messages de navigation (éphémérides, données almanach, corrections d'horloge émetteur, etc.) véhiculés par les signaux GNSS. (De manière alternative, ces données peuvent être obtenues par d'autres canaux, p.ex. via un service de radiodiffusion terrestre, une liaison Internet ou autre.) Les mesures GNSS et les données GNSS peuvent être présentées au format RINEX.

[0053] Les mesures GNSS et les données GNSS sont finalement traitées par un navigateur GNSS 20. Le logiciel du navigateur GNSS 20 estime dans un premier temps un ensemble de biais multi-trajets et corrige les observables GNSS associées. L'estimation de l'ensemble de biais causés par des multi-trajets est réalisée selon les lignes développées ci-dessus. Dans un second temps, le logiciel résout les équations de navigation, p. ex. grâce à un filtre de Kalman étendu, sur base des observables

GNSS corrigées. Les données de sortie du système de positionnement 10 comprennent la solution PVT des équations de navigation, p.ex. au format CSV ou NMEA.

5 **[0054]** Le mode de réalisation illustré à la Fig. 1 est particulièrement intéressant lorsqu'il est implémenté par le constructeur du système de positionnement 10. En effet, le constructeur a la possibilité de mettre à jour le logiciel du navigateur 20.

[0055] La Fig. 2 illustre un système de positionnement 10 selon un second mode de réalisation de l'invention. Il est particulièrement adapté lorsqu'une personne tierce souhaite tenir compte des multi-trajets lors de la résolution des équations de navigation
10 mais n'a pas la possibilité de modifier le logiciel présent dans le navigateur GNSS 20.

[0056] Dans ce mode de réalisation, le processeur bande de base 18 met les données de mesure GNSS à disposition de l'utilisateur. Les téléphones portables utilisant, p. ex., le système d'exploitation « Android Nougat », version 7 ou plus élevée, fournissent à l'utilisateur les données de mesures GNSS brutes. Il est alors possible
15 d'implémenter un navigateur GNSS personnalisé 22 qui réalise le procédé de positionnement par GNSS tel que décrit dans ce document.

[0057] Il est à noter que cette configuration peut être intéressante pour comparer la solution PVT fournie par un navigateur conventionnel (ne corrigeant pas les multi-trajets) avec la solution PVT fournie par le procédé de la présente invention.

20 **[0058]** La Fig. 3 illustre un procédé réalisé dans un navigateur GNSS, selon un mode de réalisation de l'invention. A chaque pas de temps, le vecteur d'observables $\mathbf{y} = \begin{bmatrix} \rho^i \\ \dot{\rho}^i \end{bmatrix}$ est tout d'abord obtenu d'un récepteur GNSS 18. Ensuite, le navigateur GNSS détermine le vecteur $\delta\mathbf{y} = \mathbf{y} - \mathbf{y}_{préd}$ (étape 24), où $\mathbf{y}_{préd}$ est le vecteur d'observables prédit sur la base de la solution PVT précédente. $\delta\mathbf{y}$ représente le vecteur des écarts
25 entre les pseudo-distances mesurées \mathbf{y} et les pseudo-distances estimées $\mathbf{y}_{préd}$. Si on marque les grandeurs à un instant k par l'indice correspondant, on a, pour $\mathbf{y}_{préd}$ à l'instant k :

$$\mathbf{y}_{préd,k} = \mathbf{H}_{k-1}\mathbf{x}_{k-1}, \quad (\text{Eq. 19})$$

où \mathbf{H}_{k-1} et \mathbf{x}_{k-1} sont, respectivement, la matrice jacobienne et le vecteur d'état à
30 l'instant précédent.

[0059] Le navigateur GNSS estime ensuite les biais multi-trajets (c.-à-d. le vecteur $\hat{\mathbf{m}}$, voir Eq. 18) sont ensuite déterminés et corrige $\delta\mathbf{y}$, le vecteur des écarts entre les pseudo-distances mesurées \mathbf{y} et les pseudo-distances estimées $\mathbf{y}_{préd}$:

$$\delta\mathbf{y}_{corr} = \delta\mathbf{y} - \hat{\mathbf{m}}. \quad (\text{Eq. 20})$$

5 **[0060]** Le vecteur $\delta\mathbf{y}_{corr}$ est injecté dans un filtre de Kalman étendu 28 à chaque pas de temps en tant qu'observation. Le filtre de Kalman 28 utilise un modèle tenant compte de certaines données GNSS 30, comme, p.ex., de la position et de la vitesse des satellites, de la position et de la vitesse précédemment estimées du récepteur, des erreurs relativistes, des dérives et décalages des horloges des satellites et du
10 récepteur, d'erreur sur l'estimation du temps d'arrivée des signaux GNSS, du retard de groupe, des biais ionosphériques (p.ex. sur base du modèle Klobuchar), des biais troposphériques (p. ex. sur base de la fonction de Niell), etc.

[0061] Le filtre de Kalman 28 fournit en sortie, à l'instant k , le vecteur variation d'état $\delta\mathbf{x}$, qui est la variation entre l'état précédemment estimé ($k-1$) et l'état actuel (k), ainsi
15 que le vecteur d'état $\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{x}_k$. Le nouvel état $\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{x}_k$ peut être trouvé par addition du vecteur variation d'état $\delta\mathbf{x}$ à l'état précédent \mathbf{x}_{k-1} . D'autre part, le filtre de Kalman 28 met également à jour la matrice \mathbf{H} , ainsi que p.ex les décalages et dérives des horloges, les erreurs relatives au temps d'arrivée des signaux GNSS, la matrice de propagation (de transition), etc, pour la prochaine itération ($k \leftarrow k + 1$). Il a été dit plus
20 haut que le paramètre de régularisation λ (voir Eq. 9) peut être fixe ou ajusté de manière dynamique. Un choix possible est $\lambda = 1$. Une valeur plus élevée de λ (tous les autres paramètres restant inchangés) donne plus d'importance à la contrainte de parcimonie, c.-à-d. fait ressortir un vecteur des biais multi-trajets plus parcimonieux (davantage de composantes de la solution $\hat{\mathbf{m}}$ sont égales à 0). Une valeur de λ moins
25 élevée relâche la contrainte de parcimonie. En cas d'ajustement dynamique de λ , il est possible de définir une plage de valeurs dans lesquelles λ pourra être choisi en fonction de certains paramètres qui sont surveillés. De manière alternative, des valeurs discrètes peuvent être définies parmi lesquelles λ pourra être choisi.

[0062] Il convient de noter que le procédé fonctionne également si le récepteur GNSS
30 ne fournit pas les delta-distances $\hat{\rho}^i$ ($i = 1, \dots, N$). Dans ce cas, le vecteur des biais multi-trajets \mathbf{m} à estimer se réduit à \mathbf{m}_p .

[0063] Alors que des modes de réalisation particuliers viennent d'être décrits en détail, l'homme du métier appréciera que diverses modifications et alternatives à ceux-là puissent être développées à la lumière de l'enseignement global apporté par la présente divulgation de l'invention. Par conséquent, les agencements et/ou procédés
5 spécifiques décrits ci-dedans sont censés être donnés uniquement à titre d'illustration, sans intention de limiter la portée de l'invention.

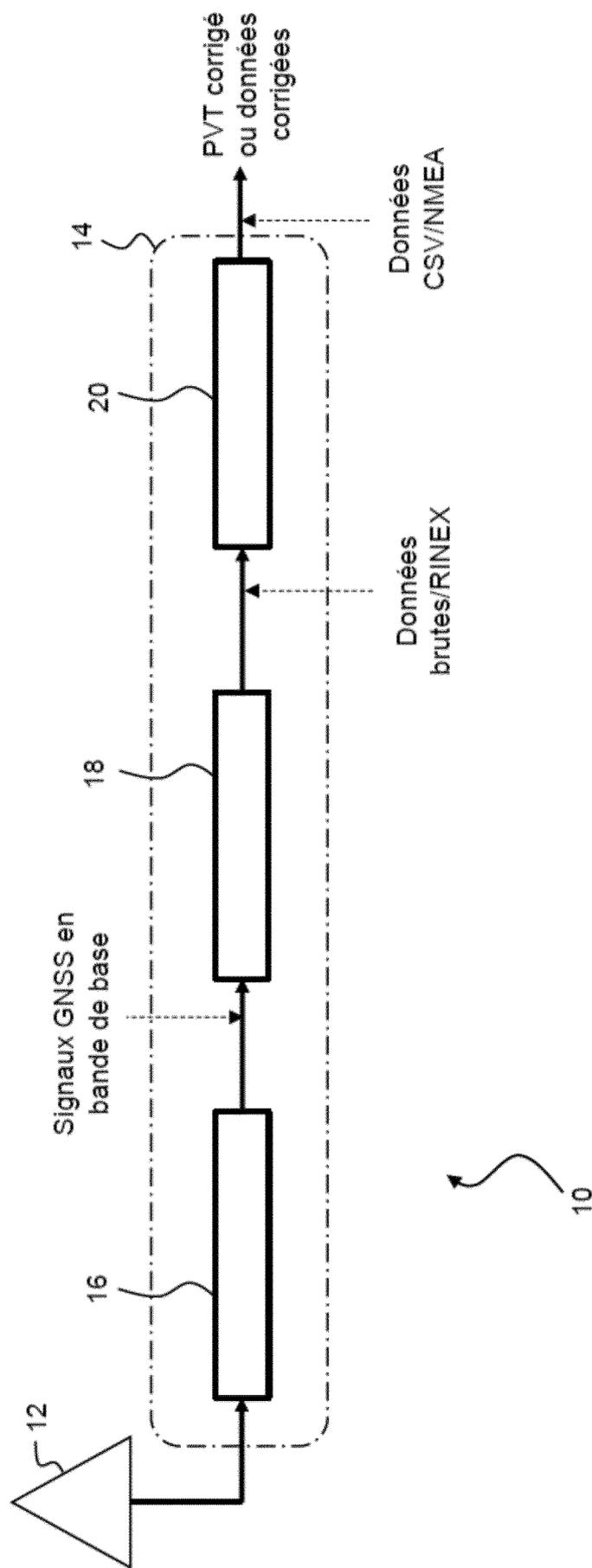
Revendications

1. Procédé de positionnement par GNSS, caractérisé par:
 - l'obtention de mesures GNSS (\mathbf{y}) réalisées par un récepteur GNSS, les mesures (\mathbf{y}) comprenant un ensemble de pseudo-distances entre le récepteur GNSS et des émetteurs GNSS sur des satellites ;
 - l'estimation d'un ensemble de pseudo-distances prédites sur la base d'une position précédente du récepteur GNSS ;
 - l'estimation (26) d'un ensemble de biais susceptibles d'être causés par des multi-trajets sur la base d'un modèle théorique des écarts entre les pseudo-distances mesurées et les pseudo-distances estimées, le modèle comprenant un terme de géométrie (\mathbf{H}) dépendant de la position du récepteur GNSS et des émetteurs GNSS et un terme additif représentant l'ensemble desdits biais, les inconnues du modèle comprenant la position courante du récepteur GNSS et lesdits biais ;
 - l'estimation (26) des biais reposant sur une minimisation des résidus entre les écarts et le modèle théorique des écarts, en fonction des inconnues du modèle, sous une contrainte de parcimonie de l'ensemble des biais ;
 - la correction (26) des pseudo-distances mesurées sur base des biais estimés ;
 - et
 - la prédiction d'une position courante ($\hat{\mathbf{x}}$) du récepteur GNSS ayant réalisé les mesures GNSS (\mathbf{y}) sur la base des pseudo-distances mesurées ainsi corrigées.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la contrainte de parcimonie prévoit que plus que le quart, préférablement plus que la moitié, encore plus préférablement plus de deux tiers, toujours plus préférablement plus que trois quarts et le plus préférablement plus que quatre cinquièmes, des biais susceptibles d'être causés par des multi-trajets soient nuls.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'estimation (26) de l'ensemble des biais utilise un algorithme LASSO.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'estimation (26) de l'ensemble des biais comprend une pénalisation de signaux en provenance d'émetteurs GNSS sur des satellites à basse élévation par rapport à des signaux en provenance d'émetteurs GNSS sur des satellites à haute élévation.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel l'estimation (26) de l'ensemble des biais comprend une pénalisation de signaux présentant un rapport C/N_0 faible par rapport à des signaux présentant un rapport C/N_0 élevé.
- 5 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel l'estimation (26) de l'ensemble des biais comprend une pénalisation de signaux préalablement affectés par des multi-trajets.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel l'estimation (26) des biais utilise un paramètre de régularisation pour mettre en
10 œuvre la contrainte de parcimonie, le paramètre de régularisation étant ajustable pour relâcher ou donner plus d'importance à ladite contrainte.
8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel le paramètre de régularisation est ajusté de manière dynamique.
9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel le paramètre de régularisation est
15 ajusté en fonction de la position (\hat{x}) du récepteur GNSS.
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel les mesures GNSS (y) réalisées par un récepteur GNSS sont obtenues au format RINEX.
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel
20 l'estimation des pseudo-distances prédites repose également sur une vitesse précédente et un biais récepteur du récepteur GNSS et dans lequel le terme de géométrie (H) du modèle utilisé pour l'estimation des biais susceptibles d'être causés par des multi-trajets dépend également de la vitesse et du biais récepteur du récepteur GNSS ainsi que de la position et de la vitesse des émetteurs GNSS,
25 les inconnues du modèle comprenant en outre la vitesse et le biais récepteur actuels du récepteur GNSS.
12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel la
30 prédiction d'une position courante (\hat{x}) du récepteur GNSS ayant réalisé les mesures GNSS (y) est réalisée par un filtre de Kalman étendu (28) utilisant les pseudo-distances mesurées et corrigées pour mettre à jour l'état prédit.

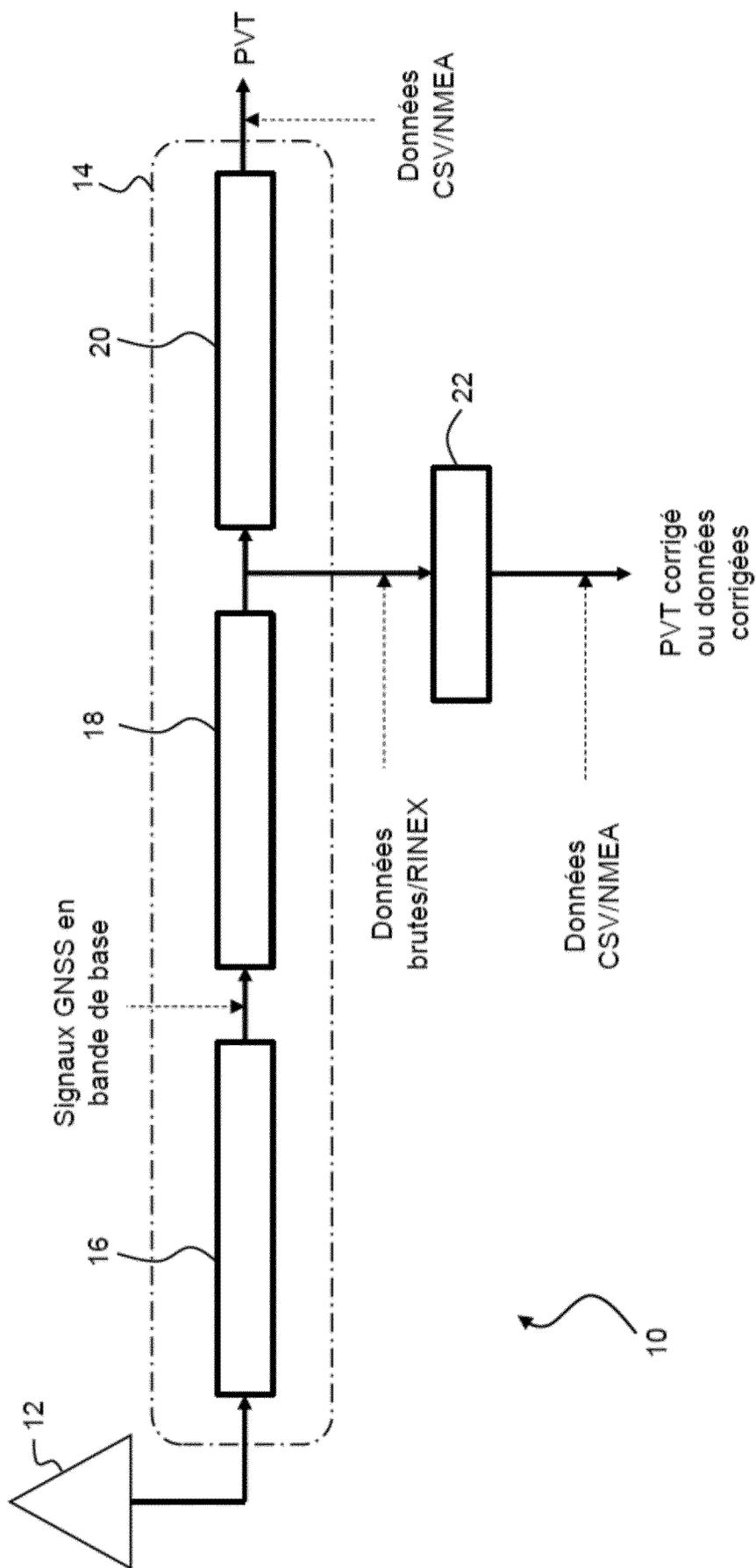
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, fonctionnant en temps réel.
14. Programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.
15. Navigateur GNSS (22), comprenant une mémoire et un processeur, ainsi que des instructions de code de programme enregistrés dans la mémoire et accessibles par ledit processeur, le processeur effectuant le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13 lorsque les instructions de code de programme sont exécutées par le processeur.
16. Navigateur GNSS (22) selon la revendication 15, comprenant un récepteur GNSS configuré pour obtenir les mesures GNSS (y) et les mettre à disposition du processeur lorsque les instructions de code de programme sont exécutées.

Fig. 1



10

Fig. 2



10

Fig. 3

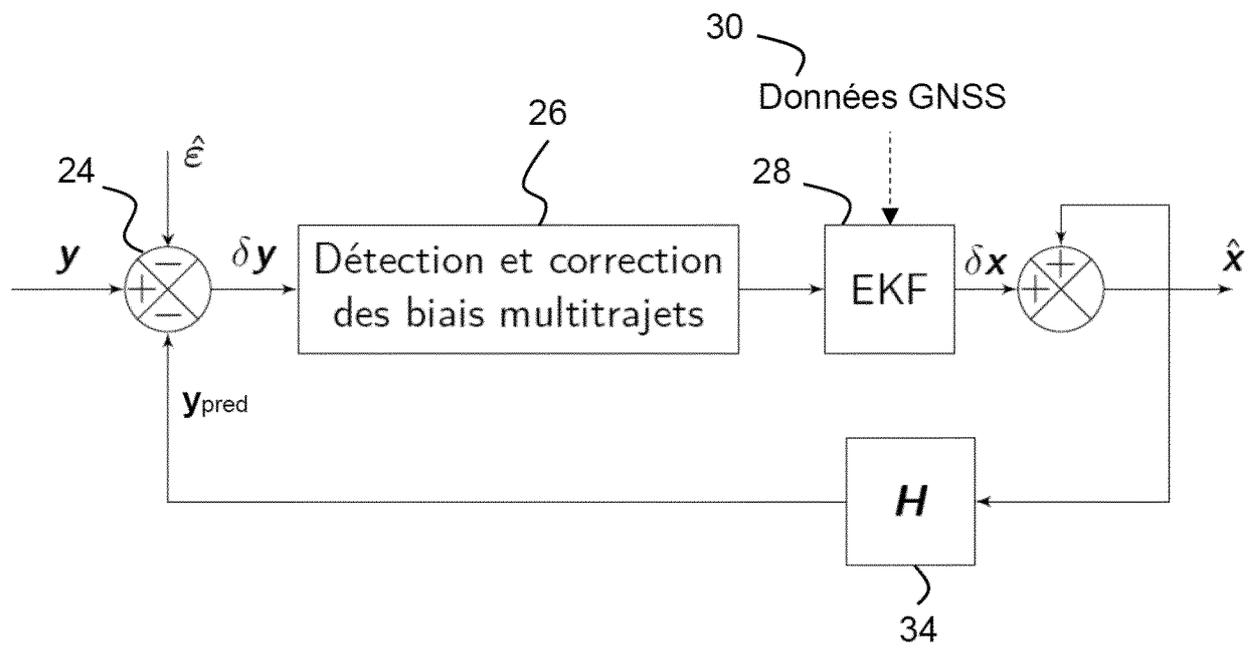
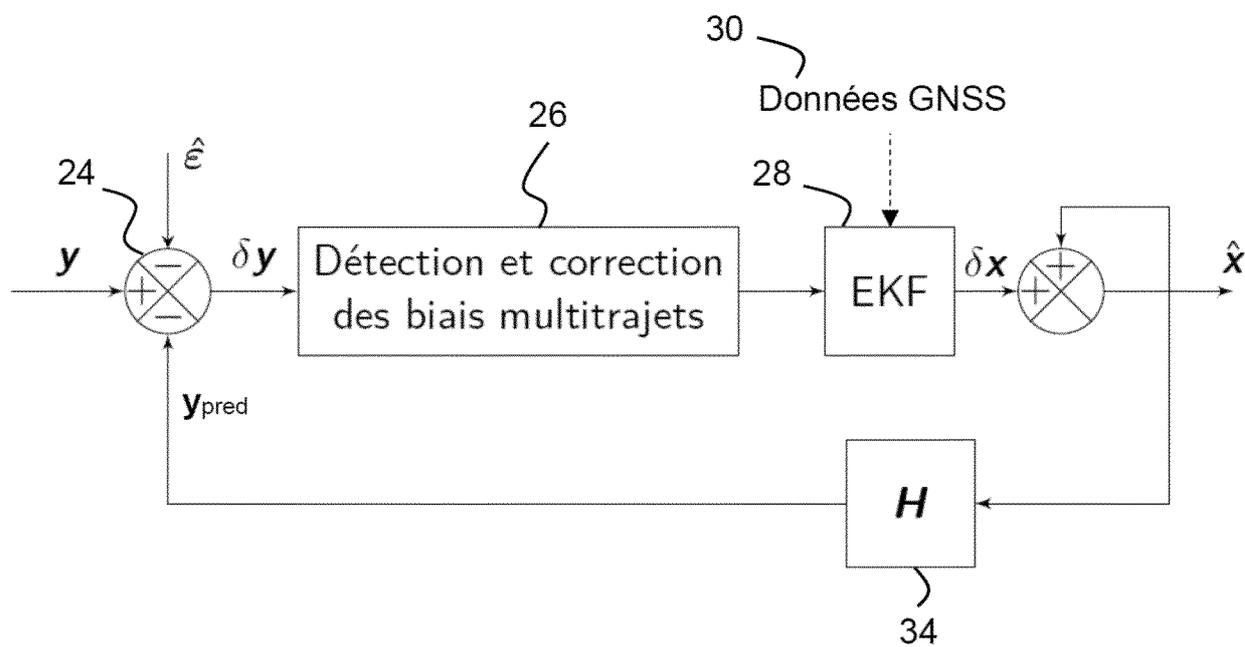


Figure à publier avec l'abrégé



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 840877
FR 1753907

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		
X	US 2012/127029 A1 (RACHLIN YARON [US] ET AL) 24 mai 2012 (2012-05-24)	1-3, 10-16	G01S19/05 G01S19/42
A	* figure 4 * * alinéa [0057] - alinéa [0059] * * alinéa [0042] * * alinéa [0035] * * alinéa [0044] - alinéa [0049] *	4-9	
A	FEI XIANG ET AL: "A multipath mitigation discriminator for GPS receiver", AEU - INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 67, no. 10, 1 octobre 2013 (2013-10-01), pages 839-847, XP001585661, ISSN: 1434-8411, DOI: HTTP://DX.DOI.ORG/10.1016/J.AEUE.2013.04.007 * pages 844-845, section 5.2 *	1-16	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 janvier 2018		Hekmat, Taymoor	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention 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. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1753907 FA 840877**

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 **24-01-2018**

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
US 2012127029 A1	24-05-2012	US 2012127029 A1	24-05-2012
		WO 2012071320 A1	31-05-2012
