

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

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

3 137 763

②① N° d'enregistrement national : **22 06942**

⑤① Int Cl⁸ : **G 01 S 19/00 (2022.01)**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé de détection d'un signal interférant d'un récepteur GNSS et dispositif de détection associé.

②② Date de dépôt : 07.07.22.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 12.01.24 Bulletin 24/02.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 28.06.24 Bulletin 24/26.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

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

⑦② Inventeur(s) : MARTIN Nicolas, ARNAUDON Alexandre et BELBACHIR Sélim.

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

⑦④ Mandataire(s) : Lavoix.

FR 3 137 763 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé de détection d'un signal interférant d'un récepteur GNSS et dispositif de détection associé

- [0001] La présente invention concerne un procédé de détection d'un signal interférant d'un récepteur GNSS.
- [0002] La présente invention concerne également un dispositif de détection mettant en œuvre un tel procédé.
- [0003] Le domaine technique de l'invention est celui des récepteurs GNSS.
- [0004] Par récepteur GNSS, on entend un récepteur apte à recevoir des signaux issus d'un système global de positionnement par satellites connu également sous le sigle anglais de GNSS (pour « Global Navigation Satellite System »). De manière générale, un système GNSS est composé d'une pluralité de satellites permettant à un récepteur mobile de déterminer sa position dans un repère terrestre, sa vitesse et l'heure.
- [0005] Le domaine d'application de l'invention est par exemple celui des véhicules nécessitant une grande confiance (intégrité) dans leurs informations de géolocalisation et évoluant dans un environnement perturbé.
- [0006] En particulier, l'invention peut être avantageusement appliquée aux véhicules fonctionnant à faible hauteur par rapport au sol, voire à hauteur nulle, dans un environnement (par exemple urbain) où les sources d'interférences sont plus nombreuses. C'est en particulier le cas de certaines applications drones, rail et automobiles.
- [0007] Parmi les interférences présentes dans de tels environnements, on connaît notamment des interférences de type « onde continue », plus communément connu sous le sigle anglais de CW (« continuous wave »).
- [0008] De manière connue en soi, contrairement aux perturbateurs de type « bande large » qui ont pour effet de relever le niveau de bruit dans toute la bande et donc de réduire la marge des boucles de poursuite pouvant aller jusqu'à la perte du service (perte de disponibilité), les interférences de type « onde continue » peuvent biaiser la mesure lors d'une phase de poursuite sur certains axes uniquement ce qui conduit à une perte d'intégrité.
- [0009] Ainsi, lorsqu'il existe un risque de telles interférences, il est donc nécessaire de détecter l'effet de ces interférences sur chaque axe pour assurer l'intégrité de la solution, et éventuellement, de corriger l'effet de ces interférences sur les axes affectés pour améliorer la disponibilité du service dans l'environnement perturbé.
- [0010] Dans l'état de la technique, on connaît différentes techniques pour traiter les interférences de type « onde continue ».
- [0011] Parmi ces techniques, il existe des techniques basées sur la diversité d'antennes

associées à un même récepteur. Toutefois, ces techniques impliquent une plus grande complexité du récepteur, car il reçoit un plus grand flux de signaux à traiter et nécessite un traitement logiciel lourd. Cela implique alors un coût récurrent plus élevé à cause des antennes et voies radiofréquences à ajouter.

- [0012] Il existe également des techniques basées sur la détection d'incohérence dans les mesures produites par un récepteur mono-antenne, sans aide supplémentaire. Toutefois, ces techniques n'assurent que la détection seule d'interférences et présentent un temps de réaction relativement important.
- [0013] Il existe également des techniques incluant un traitement pré-corrélation de type ADP (de l'anglais « Amplitude Domain Processing »). Toutefois, ces techniques ne fonctionnent qu'en présence d'une seule onde continue.
- [0014] La présente invention a pour but de remédier à ces inconvénients de l'état de la technique et de proposer donc un procédé et un dispositif permettant de détecter une interférence d'un récepteur GNSS par une ou plusieurs interférences de type onde continue, en utilisant des moyens de calcul et une seule antenne. En cas de détection d'une telle interférence, l'invention permet en outre de corriger les informations délivrées par le récepteur GNSS afin d'assurer une continuité de service.
- [0015] À cet effet, l'invention a pour objet un procédé de détection d'un signal interférant d'un récepteur GNSS, le signal interférant étant de type onde continue, le procédé étant mis en œuvre lors d'une phase de poursuite d'un satellite comprenant le calcul d'un groupe de corrélateurs de poursuite sur au moins un intervalle d'intégration pré-déterminé, le groupe de corrélateurs de poursuite comprenant un corrélateur de type ponctuel et au moins un corrélateur de type décalé.
- [0016] Le procédé comprend les étapes suivantes :
- [0017] - calcul de k groupes de corrélateurs isolés sur ledit intervalle d'intégration, chaque groupe de corrélateurs isolés étant composé d'un même nombre et de mêmes types de corrélateurs que le groupe de corrélateurs de poursuite, les corrélateurs de chaque groupe de corrélateurs isolés étant avancés ou retardés des corrélateurs correspondants du groupe de poursuite d'un nombre entier de chips ;
- [0018] - détermination d'une pluralité de déphasages consécutifs entre les corrélateurs de type ponctuel des groupes consécutifs de corrélateurs isolés ;
- [0019] - estimation d'un déphasage moyen entre les corrélateurs à l'intérieur des groupes de corrélateurs isolés en utilisant les corrélateurs de type ponctuel et les corrélateurs de type décalé de ces groupes ;
- [0020] - détection d'un signal interférant en appliquant un critère de vraisemblance entre les déphasages consécutifs et le déphasage moyen estimé.
- [0021] 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 :

- [0022] - le signal interférant est détecté lorsque la distance selon le critère de vraisemblance entre des vecteurs calculés à partir desdits déphasages est inférieure à un seuil pré-déterminé ;
- [0023] - les groupes de corrélateurs isolés sont choisis de manière consécutive à chaque nombre entier de chips ;
- [0024] - chaque groupe de corrélateurs comprend deux corrélateurs de type décalé : un corrélateur de type avance et un corrélateur de type retard par rapport au corrélateur ponctuel correspondant ;
- [0025] - chaque corrélateur de type avance et chaque corrélateur de type retard sont écartés du corrélateur de type ponctuel correspondant d'une même distance correspondant à une fraction d'un chip ;
- [0026] - chaque déphasage consécutif des corrélateurs de type ponctuel de chaque paire de groupes consécutifs de corrélateurs isolés est déterminé en utilisant l'argument d'un nombre complexe $\tilde{Z}_{P_i \times P_j}$ déterminé comme suit :
- [0027]
$$\tilde{Z}_{P_i \times P_j} = \frac{Z_{P_i \times P_j}}{Z_{P_j \times P_j}}$$
- [0028] où :
- [0029] $Z_{P_i \times P_j} = Z_{P_i} \text{conj}(Z_{P_j})$
- [0030] et
- [0031] i et j sont les indices du groupe de corrélateurs correspondants ;
- [0032] Z_{P_i} et Z_{P_j} sont les corrélateurs de type ponctuel des groupes de corrélateurs correspondants ; et
- [0033] $\text{conj}(X)$ est une opération de conjugaison d'un nombre complexe X ;
- [0034] - l'étape d'estimation d'un déphasage moyen comprend pour chaque groupe de corrélateurs isolés la détermination d'un déphasage élémentaire correspondant au déphasage entre le corrélateur de type ponctuel et le ou chaque corrélateur de type décalé de ce groupe ;
- [0035] - l'étape d'estimation d'un déphasage moyen comprend en outre une sommation de l'ensemble des déphasages élémentaires ;
- [0036] - le procédé comprenant en outre une étape de détermination de la fréquence du signal interférant à partir d'une partie fractionnelle de celle-ci déterminée par lesdits déphasages consécutifs et à partir d'une partie entière de celle-ci déterminée par ledit déphasage moyen ;
- [0037] - le procédé comprenant en outre, lorsqu'un signal interférant est détecté, une étape de correction des corrélateurs du groupe de corrélateurs de poursuite en utilisant la fréquence du signal interférant déterminée et les corrélateurs des groupes de corrélateurs isolés.

- [0038] L'invention a également pour objet un dispositif de détection d'un signal interférant d'un récepteur GNSS, comprenant des moyens techniques configurés pour mettre en œuvre le procédé tel que défini précédemment.
- [0039] 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 :
- [0040] - la [Fig.1] est une vue schématique d'un système global de positionnement par satellites (système GNSS) et d'un récepteur GNSS ;
- [0041] - la [Fig.2] est une vue schématique d'un dispositif de détection selon l'invention, le dispositif permettant de détecter un signal interférant du récepteur GNSS de la [Fig.1] ;
- [0042] - la [Fig.3] est un organigramme d'un procédé de détection selon l'invention, le procédé étant mis en œuvre par le dispositif de détection de la [Fig.2] ; et
- [0043] - la [Fig.4] est une vue schématique illustrant la mise en œuvre d'une étape du procédé de détection de la [Fig.3].
- [0044] On a en effet représenté sur la [Fig.1], un système global 10 de positionnement par satellites du type GNSS (de l'anglais « Global Navigation Satellite System »).
- [0045] En référence à cette figure 1, le système de positionnement 10 comporte une pluralité de satellites Sat_n disposés sur des orbites différentes autour de la Terre pour laquelle le système de positionnement 10 est mis en place.
- [0046] Le nombre total des satellites Sat_n est par exemple égal à 30.
- [0047] L'indice n correspond à un identifiant de chaque satellite Sat_n et varie par exemple entre 1 et 30.
- [0048] Chaque satellite Sat_n est apte à émettre des signaux électromagnétiques S vers une partie de la surface terrestre 14 qu'il est en train de survoler.
- [0049] En particulier, les satellites Sat_n sont disposés de telle sorte qu'au moins quatre satellites Sat_n sont aptes à émettre des signaux électromagnétiques de navigation S vers sensiblement chaque point de la surface terrestre 14.
- [0050] La position courante de chaque satellite Sat_n est caractérisée par les éphémérides relatives à ce satellite ou par l'almanach de celui-ci.
- [0051] Comme cela est connu en soi, les éphémérides permettent de déterminer la position exacte du satellite Sat_n alors que l'almanach donne une position grossière.
- [0052] Chaque signal S émis par chacun des satellites Sat_n comprend une information de navigation modulée par un code d'étalement C_n propre au satellite Sat_n ayant émis ce signal. Cette information de navigation modulée est portée par une onde porteuse $\exp(-j\phi_p)$ selon une technique connue en soi.
- [0053] Chaque information de navigation comprend notamment le temps d'émission du signal correspondant, les éphémérides et l'almanach du satellite Sat_n au moment de

l'émission du signal S .

- [0054] Chaque code d'étalement C_n présente un code binaire du type pseudo-aléatoire, connu également dans l'état de l'art sous le sigle anglais de PRN (de l'anglais « Pseudo Random Noise »).
- [0055] Chaque code d'étalement C_n est un code périodique avec une période de code dénotée L_c et exprimée en un nombre entier d'unités de référence.
- [0056] L'unité de référence est par exemple un chip dont la durée est dénotée T_{chip} et exprimée en secondes.
- [0057] On entend par « chip », une unité de référence correspondant à un créneau d'un code du type pseudo-aléatoire.
- [0058] Sur la durée de chaque unité de référence, ou chip, le code d'étalement prend une valeur constante égale soit à +1 soit à -1.
- [0059] Les signaux S émis au moins par certains des satellites Sat_n sont reçus par un récepteur 20.
- [0060] Le récepteur 20 est par exemple un dispositif électronique portable et/ou un dispositif électronique embarqué dans un véhicule se déplaçant par exemple sur la surface terrestre 14 ou à la proximité de celle-ci avec une vitesse variable.
- [0061] Le récepteur 20 est apte à recevoir des signaux S issus des satellites Sat_n , et à extraire de ces signaux S les informations de navigation pour déduire sa position courante, sa vitesse courante et l'heure comme ceci sera expliqué par la suite.
- [0062] Le récepteur 20 est illustré plus en détail sur la [Fig.2].
- [0063] Ainsi, en référence à cette [Fig.2], le récepteur 20 comporte une antenne 22, un module de traitement 24 et des ressources matérielles.
- [0064] Le module 24 se présente par exemple sous la forme d'un ou plusieurs logiciels qui sont mis en œuvre par les ressources matérielles prévues à cet effet, telles qu'un processeur, une mémoire vive, une mémoire morte, etc. Les ressources matérielles sont par exemple alimentées par une batterie.
- [0065] En particulier, la mémoire morte du récepteur 20 est apte à stocker des images des codes d'étalement C_n de chaque satellite Sat_n .
- [0066] L'antenne 22 est apte à recevoir des signaux S_r électromagnétiques correspondant aux signaux S émis par les satellites Sat_n lorsque ceux-ci se trouvent dans un domaine de sa visibilité.
- [0067] Le module de traitement 24 est apte à mettre en œuvre une phase d'acquisition des signaux S_r selon des techniques connues en soi et une phase de poursuite des signaux S_r selon des techniques connues en soi.
- [0068] Le fonctionnement du récepteur 20 va désormais être expliqué.
- [0069] À chaque démarrage du récepteur 20, le module de traitement 24 initie une pluralité de canaux d'acquisition pour l'ensemble des satellites Sat_n . Chacun de ces canaux

permet d'acquérir l'information de navigation issue du satellite Sat_n auquel il est associée, lorsque ce satellite Sat_n est dans le domaine de visibilité de l'antenne 22.

[0070] Le fonctionnement du récepteur 20 sur chaque canal d'acquisition est sensiblement analogue. Ainsi, seul le fonctionnement du récepteur 20 sur un canal sera expliqué ci-après.

[0071] Ce canal est associé par exemple au satellite Sat_n , dit par la suite satellite recherché. Il est supposé en outre que le satellite Sat_n est situé dans le domaine de visibilité de l'antenne 22.

[0072] Pour chaque signal reçu, le récepteur 20 et en particulier le module de traitement 24 génère un signal local S_{loc} comportant une onde porteuse locale $\exp(-j\phi_{ploc})$ et un code d'étalement local $C_n(\phi_{cloc})$ correspondant à une image locale du code d'étalement C_n du satellite recherché.

[0073] Le signal local S_{loc} en fonction du temps t s'écrit alors sous la forme suivante :

$$[0074] S_{loc}(t) = \exp(-j\phi_{ploc}(t)) \cdot C_n(\phi_{cloc}(t)),$$

[0075] avec $j^2 = -1$.

[0076] Puis, le module de traitement 24 lance l'exécution de la phase d'acquisition.

[0077] En particulier, lors de la phase d'acquisition, le module de traitement 24 détermine une valeur de Doppler et une valeur de retard du signal reçu S_r par rapport au signal local S_{loc} .

[0078] La valeur de Doppler correspond au décalage en fréquence de l'onde porteuse locale $\exp(-j\phi_{ploc})$ par rapport à l'onde porteuse $\exp(-j\phi_p)$ du signal S_r reçu.

[0079] Dans l'exemple décrit, la valeur de retard correspond au retard du code d'étalement $C_n(\phi_c)$ de ce signal reçu par rapport au code d'étalement local $C_n(\phi_{cloc})$.

[0080] Les valeurs de retard sont déterminées selon des techniques connues qui comprennent notamment le calcul d'un groupe de corrélateurs comprenant trois types de corrélateurs.

[0081] Un premier type de corrélateurs, dit ponctuel Z_P , consiste à calculer des corrélations entre le signal reçu S_r et le signal local S_{loc} sur un intervalle d'intégration prédéterminé T_P . Autrement dit :

$$[0082] Z_P(m) = \frac{1}{T_P} \int_{[mT_P, (m+1)T_P]} S_{loc}^*(t) \cdot S_r(t) dt \quad (rel\ 1)$$

[0083] où X^* signifie conjugué du nombre complexe X .

[0084] Un deuxième type de corrélateurs, dit d'avance Z_A , consiste à calculer des corrélations entre le signal reçu S_r et un signal correspondant au signal local S_{loc} dans lequel le code d'étalement local $C_n(\phi_{cloc} + d)$ est décalé en avance d'une valeur d

comprise entre 0 et T_{chip} .

- [0085] Un troisième type de corrélateurs, dit de retard Z_R , consiste à calculer des corrélations entre le signal reçu S_r et un signal correspondant au signal local S_{loc} dans lequel le code d'étalement local $C_n(\phi_{cloc} - d)$ est décalé en retard de la même valeur d .
- [0086] À l'issue de la phase d'acquisition, le récepteur 20 et particulier le module de traitement 24, synchronise le signal local S_{loc} avec le signal S émis par le satellite Sat_n recherché en utilisant les valeurs de Doppler et de retard déterminées.
- [0087] Puis, le module de traitement 24 lance l'exécution d'une phase de convergence réalisant un asservissement de la valeur de retard du code d'étalement local $C_n(\phi_{cloc})$ et de la valeur de Doppler de l'onde porteuse locale $exp(-j\phi_{ploc})$, sur le signal S reçu du satellite Sat_n , grâce à des boucles de poursuite de code et de porteuse, grâce notamment aux trois types de corrélateurs précités.
- [0088] Cette phase transitoire permet de faire coïncider précisément le code d'étalement local $C_n(\phi_{cloc})$ et l'onde porteuse locale $exp(-j\phi_{ploc})$ avec le code d'étalement $C_n(\phi_c)$ et l'onde porteuse $exp(-j\phi_p)$ du signal satellite S reçu du satellite Sat_n .
- [0089] Puis, le module de traitement 24 lance la phase de poursuite.
- [0090] En particulier, lors de la phase de poursuite, le module de traitement 24 met à jour régulièrement les valeurs de Doppler et de retard ce qui lui permet de démoduler le signal reçu S_r et d'en extraire l'information de navigation correspondante. Pour ce faire, le module de traitement 24 utilise notamment les trois types de corrélateurs précités. Les corrélateurs calculés lors de cette phase de poursuite forment un groupe de corrélateurs de poursuite. Ces corrélateurs seront dénotés par la suite avec l'indice 0, c'est-à-dire Z_{A0} , Z_{P0} et Z_{R0} , respectivement pour corrélateurs de type avance, ponctuel et retard.
- [0091] Finalement, le module de traitement 24 consolide l'ensemble des informations acquises par l'ensemble des voies d'acquisition et en déduit la position du récepteur 20, sa vitesse et l'heure.
- [0092] Il arrive parfois que lors le récepteur 20 « s'accroche » lors de la phase de poursuite sur un ou plusieurs canaux à un signal interférant qui n'a pas le même effet que le code d'étalement du satellite poursuivi. Un tel signal interférant peut être de type onde continue. Pour sa détection et éventuellement correction des informations de navigation correspondantes, l'invention propose un dispositif de détection 40 associé au récepteur 20.
- [0093] Dans l'exemple de la [Fig.2], le dispositif de détection 40 est intégré au moins partiellement dans le récepteur 20.

- [0094] Selon un autre exemple de réalisation, le dispositif de détection 40 présente une unité séparée du récepteur 20 qui est connectée au récepteur 20.
- [0095] Le dispositif de détection 40 comprend un module d'entrée 41 apte à acquérir au moins certaines des données acquises par le récepteur 20 telles que le signal S_r reçu à chaque instant lors de la phase de poursuite, un module de traitement 42 permettant de traiter ces données pour détecter un signal interférant et éventuellement corriger au moins certaines des données utilisées par le récepteur 20, et un module de sortie 43 configuré pour transmettre le résultat de chaque traitement effectué par le module de traitement 42 par exemple au module de traitement 24 du récepteur 20.
- [0096] Chacun des modules 41 à 43 se présente par exemple au moins partiellement sous la forme d'un logiciel et/ou d'un circuit logique programmable tel qu'un FPGA (de l'anglais « Field-programmable gate array »). Dans le cas d'une réalisation au moins partielle de l'un de ces modules par un logiciel, le dispositif de détection 40 comprend en outre des moyens matériels permettant de mettre en œuvre le fonctionnement de ce logiciel, tels qu'un processeur et une mémoire.
- [0097] Pour détecter un signal interférant de type onde continue et éventuellement corriger des données traitées par le récepteur 20, le dispositif de détection 40 met en œuvre un procédé de détection qui sera expliqué par la suite en référence à la [Fig.3] présentant un organigramme de ces étapes.
- [0098] Lors d'une étape initiale 110 de ce procédé, le module d'entrée 41 acquiert toutes les données nécessaires pour calcul des corrélateurs comme cela sera expliqué lors des étapes suivantes. En particulier, lors de cette étape 110, le module d'entrée 41 acquiert le signal reçu S_r à l'instant donné ainsi que le code d'étalement local $C_n(\phi_{cloc})$ et l'onde porteuse locale $exp(-j\phi_{ploc})$ correspondant au satellite poursuivi.
- [0099] Lors de l'étape 120 suivante, le module de traitement 42 calcule k groupes de corrélateurs isolés sur l'intervalle d'intégration T_p .
- [0100] Chaque groupe de corrélateurs isolés est composé du même nombre et de mêmes types de corrélateurs que le groupe de corrélateurs de poursuite. Ces corrélateurs de chaque groupe de corrélateurs isolés sont avancés des corrélateurs correspondants du groupe de poursuite d'un nombre entier de chips.
- [0101] Avantageusement, les groupes de corrélateurs isolés sont positionnés de manière consécutive à chaque nombre entier de chips.
- [0102] La figure 3 illustre un exemple de placement de tels groupes isolés par rapport à la fonction d'autocorrélation du code d'étalement correspondant en fonction de la valeur de retard τ .
- [0103] Ainsi, comme cela est visible sur cette figure 3, les corrélateurs Z_{A0} , Z_{P0} et Z_{R0} du groupe de corrélateurs de poursuite $Gn0$ forment un pic de la fonction

d'autocorrélation. Un corrélateur de bruit Z_B , pour estimer la puissance du bruit, est par ailleurs placé 1 chip en avance par rapport au corrélateur ponctuel Z_{P0} , de manière à être au début du pic.

[0104] Les groupes de corrélateurs isolés sont dénotés sur cette figure par les références Gn1 à Gn k et comportent chacun un corrélateur de type ponctuel, dénoté par la suite par Z_{P_i} , un corrélateur de type avance, dénoté par la suite par Z_{A_i} , et un corrélateur de type retard, dénoté par la suite par Z_{R_i} . Ces corrélateurs ne forment donc pas de pic comparable à celui du groupe de corrélateurs de poursuite Gn0.

[0105] Pour calculer chacun de ces corrélateurs, le module de traitement 42 utilise alors la relation 1 dans laquelle la fonction $S_{loc}(t)$ est calculée en utilisant un code d'étalement qui est décalé d'un nombre entier de chips pour les corrélateurs de type ponctuel et d'un nombre entier de chips plus ou moins la distance d pour les corrélateurs de type avance et retard. Ce nombre entier de chips est déterminé par la position du groupe de corrélateurs isolés correspondant par rapport au groupe de poursuite.

[0106] Lors de l'étape 130 suivante, le module de traitement 42 détermine une pluralité de déphasages consécutifs entre les corrélateurs de type ponctuel des groupes consécutifs de corrélateurs isolés.

[0107] En particulier, chaque déphasage consécutif des corrélateurs de type ponctuel de chaque paire de groupes consécutifs de corrélateurs isolés est déterminé en utilisant l'argument d'un nombre complexe $\tilde{Z}_{P_i \times P_j}$ déterminé comme suit :

$$[0108] \quad \tilde{Z}_{P_i \times P_j} = \frac{Z_{P_i \times P_j}}{Z_{P_j \times P_j}}$$

[0109] où :

$$[0110] \quad Z_{P_i \times P_j} = Z_{P_i} \text{conj}(Z_{P_j})$$

[0111] et

[0112] i et j sont les indices du groupe de corrélateurs correspondant variant entre 1 et k ;

[0113] Z_{P_i} et Z_{P_j} sont les corrélateurs de type ponctuel des groupes de corrélateurs correspondants ; et

[0114] $\text{conj}(X)$ est une opération de conjugaison d'un nombre complexe X .

[0115] Dans un mode de réalisation, les valeurs $Z_{P_i \times P_j}$ sont filtrées pour affiner les performances de la détection.

[0116] Lors de l'étape 140 suivante, le module de traitement 42 estime un déphasage moyen entre les corrélateurs à l'intérieur des groupes de corrélateurs isolés. Ce déphasage moyen est estimé en utilisant les corrélateurs de type ponctuel et les corrélateurs de type avance et retard de ces groupes.

[0117] Pour ce faire, le module de traitement 42 calcule d'abord pour chaque groupe de corrélateurs isolés les valeurs suivantes :

$$[0118] \quad Z_{A_i \times P_i} = Z_{A_i} \text{conj}(Z_{P_i})$$

$$[0119] \quad Z_{P_i \times R_i} = Z_{P_i} \text{CON}_j(Z_{R_i})$$

$$[0120] \quad Z_{R_i \times T_i} = Z_{R_i} \text{CON}_j(Z_{R_i})$$

[0121] où i est l'indice du groupe de corrélateurs isolés correspondant variant entre 1 et k .

[0122] Puis, en utilisant une division complexe, le module de traitement 42 détermine les valeurs suivantes :

$$[0123] \quad \tilde{Z}_{A_i \times P_i} = \frac{Z_{A_i \times P_i}}{Z_{P_i \times P_i}}$$

$$[0124] \quad \tilde{Z}_{P_i \times R_i} = \frac{Z_{P_i \times R_i}}{Z_{R_i \times R_i}}.$$

[0125] L'argument de chacun de ces nombres complexes correspond à un déphasage élémentaire, i.e. déphasage entre le corrélateur de type ponctuel et le corrélateur de type avance ou retard du même groupe de corrélateurs isolés.

[0126] Le déphasage moyen φ_{ent} est alors donné par l'expression suivante :

$$[0127] \quad \varphi_{ent} = \frac{1}{d} \cdot \arg_{[-\pi, \pi]} \left(\sum_{i=1}^k \tilde{Z}_{A_i \times P_i} + \tilde{Z}_{P_i \times R_i} \right).$$

[0128] Cette valeur φ_{ent} correspond à la partie entière de la fréquence du signal interférant, comme cela sera apparent dans la suite.

[0129] Lors de l'étape suivante 150, le module de traitement 42 applique un critère de vraisemblance entre les déphasages consécutifs et le déphasage moyen estimé pour détecter un signal interférant de type onde continue. En particulier, l'application de ce critère est basée sur le fait qu'en présence d'un tel type d'interférence, le déphasage est le même entre deux corrélateurs espacés d'un même écartement.

[0130] En dénotant par U un vecteur obtenu à partir des déphasages consécutifs et par V un vecteur obtenu à partir du déphasage moyen φ_{ent} , ces vecteurs U et V peuvent s'écrire sous la forme suivante :

$$[0131] \quad U = [\tilde{Z}_{P_1 \times P_2} \quad \tilde{Z}_{P_2 \times P_3} \quad \cdots \quad \tilde{Z}_{P_{k-1} \times P_k}],$$

$$[0132] \quad V = \exp(j \cdot \varphi_{ent}) \cdot [1 \quad 1 \quad \cdots \quad 1].$$

[0133] Le critère de vraisemblance peut par exemple comprendre la mesure d'une distance $dist$ entre ces vecteurs. En particulier :

$$[0134] \quad dist = \| U - V \|^2 .$$

[0135] Lorsque cette distance est inférieure à un seuil prédéterminé (sensiblement égal à 0,1 par exemple), les deux vecteurs sont alors considérés suffisamment proches et un signal interférant de type onde continue est alors détecté. Dans le cas contraire, il est donc considéré que le récepteur 20 est accroché au bon code d'étalement.

[0136] Selon un mode de réalisation, lorsqu'un signal interférant est détecté, le module de sortie 43 transmet lors d'une étape 160 cette information au module de traitement 24 qui rejette alors le signal reçu S_r et procède à une nouvelle acquisition de ce signal. Dans un tel cas, le procédé de détection est à nouveau répété en utilisant les nouvelles

mesures acquises.

[0137] Selon un autre mode de réalisation, lorsqu'un signal interférant est détecté, le module de traitement 42 procède à la correction des mesures correspondantes pour assurer la continuité du service rendu par le récepteur 20. Pour ce faire, le module de traitement 42 met en œuvre les étapes 170 et 180 décrites ci-dessous.

[0138] Lors de l'étape 170, le module de traitement 42 détermine la fréquence f_{CW} du signal interférant détecté à partir d'une partie fractionnelle de celle-ci déterminée par lesdits déphasages consécutifs et à partir d'une partie entière de celle-ci déterminée par ledit déphasage moyen.

[0139] En particulier, cette fréquence est déterminée comme suit :

$$[0140] \quad f_{CW} = \frac{1}{2\pi T_{chip}} \left[2\pi \cdot \text{fix} \left(\frac{F_e T_{chip} \varphi_{ent}}{2\pi} \right) + \varphi_{frac} \right]$$

[0141] où:

[0142] F_e est la fréquence d'échantillonnage ;

[0143] la fonction $\text{fix}(x)$ est égale à la fonction $\text{sign}(x) \cdot \text{floor}(\text{abs}(x))$ soit la partie entière pour un nombre x positif; et

[0144] φ_{frac} est la partie fractionnelle du signal interférant déterminée selon l'expression suivante :

$$[0145] \quad \varphi_{frac} = \arg_{[-\pi, \pi]} \left(\sum_{i=1}^{k-1} Z_{P_i \times P_{i+1}} \right).$$

[0146] Lors de l'étape 180 suivante, le module de traitement 42 corrige les corrélateurs du groupe de corrélateurs de poursuite en utilisant la fréquence du signal interférant déterminée et les corrélateurs des groupes de corrélateurs isolés. De préférence, le module de traitement 42 corrige également le corrélateur de bruit.

[0147] Pour ce faire, le module de traitement 42 détermine d'abord les corrections Z_{CWP} et Z_{CWB} à appliquer respectivement au corrélateur de type ponctuel du groupe de poursuite et au corrélateur de bruit. Ces corrections sont calculées comme suit :

$$[0148] \quad Z_{CWP} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Z_{P_i} \exp(-2d_{P_i} j \pi f_{CW} T_{chip})$$

$$[0149] \quad Z_{CWB} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Z_{P_i} \exp(-2d_{B_i} j \pi f_{CW} T_{chip})$$

[0150] où

[0151] d_{P_i} est l'espace entre le corrélateur de type ponctuel du groupe i de corrélateurs isolés et celui du groupe de poursuite en nombre de chips ; et

[0152] d_{B_i} est l'espace entre le corrélateur de type ponctuel du groupe i de corrélateurs isolés et celui et bruit en nombre de chips.

[0153] Puis, le module de traitement 42 en déduit les corrections à appliquer aux corrélateurs Z_{CWA} et Z_{CWR} respectivement de type avance et retard du groupe de poursuite comme suit :

$$[0154] \quad Z_{CW A} = Z_{CW P} \exp(+2j\pi f_{CW} \cdot d)$$

$$[0155] \quad Z_{CW R} = Z_{CW P} \exp(-2j\pi f_{CW} \cdot d).$$

[0156] Les corrélateurs corrigés du groupe de poursuite deviennent alors :

$$[0157] \quad Z_{A0\ cor} = Z_{A0} - Z_{CW A}$$

$$[0158] \quad Z_{P0\ cor} = Z_{P0} - Z_{CW P}$$

$$[0159] \quad Z_{R0\ cor} = Z_{R0} - Z_{CW R}$$

$$[0160] \quad Z_{B\ cor} = Z_B - Z_{CW B}$$

[0161] Puis, lors de l'étape 190 suivante, le module de sortie 43 transmet ces corrélateurs corrigés $Z_{A0\ cor}$, $Z_{P0\ cor}$, $Z_{R0\ cor}$ et $Z_{B\ cor}$ qui utilise alors ces corrélateurs corrigés pour calculer une information de navigation.

[0162] Puis, le procédé est à nouveau mis en œuvre à la réception par le récepteur 20 d'un nouveau signal S_r .

[0163] Enfin, il est à noter que le procédé de détection est avantageusement mis en œuvre dans chacune des bandes de pré-détection $1/T_P$ utilisées par le traitement de signal reçu S_r .

[0164] On conçoit alors que l'invention présente un certain nombre d'avantages.

[0165] Tout d'abord, il est clair que l'invention permet de détecter un signal interférant de type onde continue sur chaque bande du signal reçu. Ceci présente un avantage particulier car ce type d'interférence peut être présent sur une seule bande.

[0166] L'invention permet en outre de corriger les données acquises par le récepteur GNSS afin d'assurer la continuité de son service.

[0167] Enfin, l'invention peut être mise en œuvre en utilisant une seule antenne du récepteur et peu moyen de calcul. Ceci permet alors de mettre en œuvre l'invention de manière peu coûteuse.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de détection d'un signal interférant d'un récepteur GNSS, le signal interférant étant de type onde continue, le procédé étant mis en œuvre lors d'une phase de poursuite d'un satellite comprenant le calcul d'un groupe de corrélateurs de poursuite sur au moins un intervalle d'intégration prédéterminé, le groupe de corrélateurs de poursuite comprenant un corrélateur de type ponctuel et au moins un corrélateur de type décalé :
- le procédé comprenant les étapes suivantes :
- calcul (120) de k groupes de corrélateurs isolés sur ledit intervalle d'intégration, chaque groupe de corrélateurs isolés étant composé d'un même nombre et de mêmes types de corrélateurs que le groupe de corrélateurs de poursuite, les corrélateurs de chaque groupe de corrélateurs isolés étant avancés ou retardés des corrélateurs correspondants du groupe de poursuite d'un nombre entier de chips ;
 - détermination (130) d'une pluralité de déphasages consécutifs entre les corrélateurs de type ponctuel des groupes consécutifs de corrélateurs isolés ;
 - estimation (140) d'un déphasage moyen entre les corrélateurs à l'intérieur des groupes de corrélateurs isolés en utilisant les corrélateurs de type ponctuel et les corrélateurs de type décalé de ces groupes ;
 - détection (150) d'un signal interférant en appliquant un critère de vraisemblance entre les déphasages consécutifs et le déphasage moyen estimé.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel le signal interférant est détecté lorsque la distance selon le critère de vraisemblance entre des vecteurs calculés à partir desdits déphasages est inférieure à un seuil prédéterminé.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel les groupes de corrélateurs isolés sont choisis de manière consécutive à chaque nombre entier de chips.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque groupe de corrélateurs comprend deux corrélateurs de type décalé : un corrélateur de type avance et un corrélateur de type retard par rapport au corrélateur ponctuel correspondant.
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 4, dans lequel chaque corrélateur de type avance et chaque corrélateur de type retard sont écartés du corrélateur de

type ponctuel correspondant d'une même distance correspondant à une fraction d'un chip.

[Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque déphasage consécutif des corrélateurs de type ponctuel de chaque paire de groupes consécutifs de corrélateurs isolés est déterminé en utilisant l'argument d'un nombre complexe $\tilde{Z}_{P_i \times P_j}$ déterminé comme suit :

$$\tilde{Z}_{P_i \times P_j} = \frac{Z_{P_i \times P_j}}{Z_{P_j \times P_j}}$$

où :

$$Z_{P_i \times P_j} = Z_{P_i} \text{conj}(Z_{P_j})$$

et

i et j sont les indices du groupe de corrélateurs correspondants ;

Z_{P_i} et Z_{P_j} sont les corrélateurs de type ponctuel des groupes de corrélateurs correspondants ; et

$\text{conj}(X)$ est une opération de conjugaison d'un nombre complexe X .

[Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape (140) d'estimation d'un déphasage moyen comprend pour chaque groupe de corrélateurs isolés la détermination d'un déphasage élémentaire correspondant au déphasage entre le corrélateur de type ponctuel et le ou chaque corrélateur de type décalé de ce groupe.

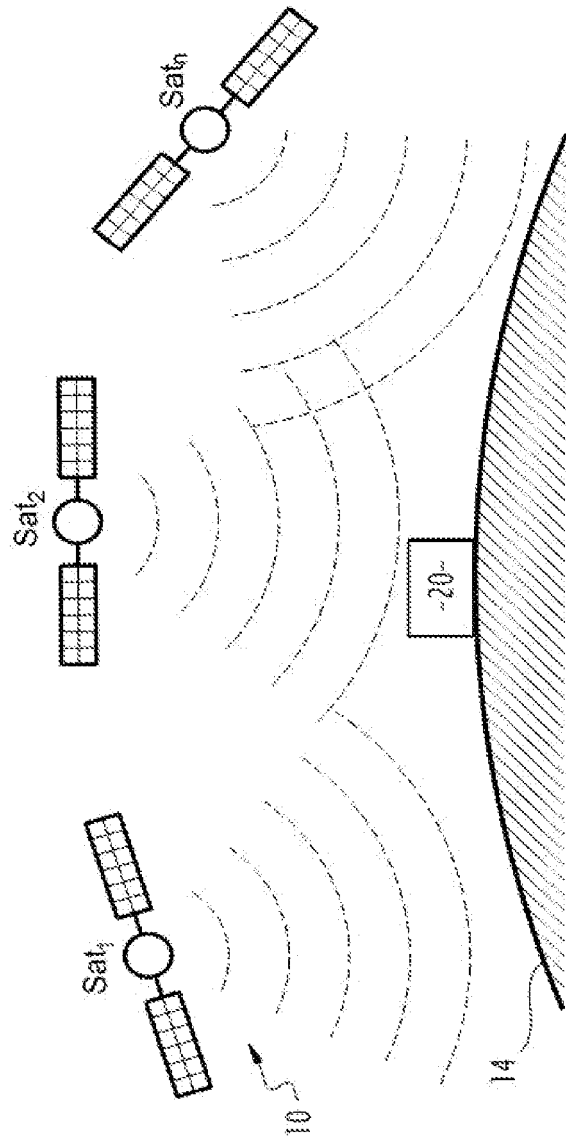
[Revendication 8] Procédé selon la revendication 7, dans lequel l'étape (140) d'estimation d'un déphasage moyen comprend en outre une sommation de l'ensemble des déphasages élémentaires.

[Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une étape (170) de détermination de la fréquence du signal interférant à partir d'une partie fractionnelle de celle-ci déterminée par lesdits déphasages consécutifs et à partir d'une partie entière de celle-ci déterminée par ledit déphasage moyen.

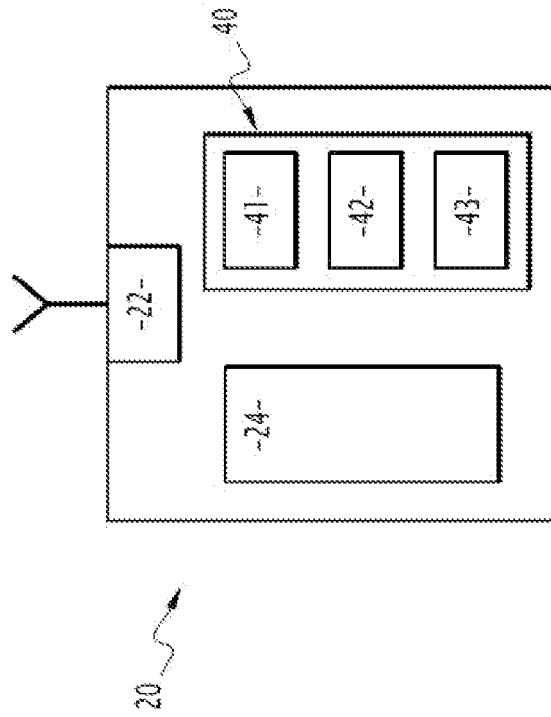
[Revendication 10] Procédé selon la revendication 9, comprenant en outre, lorsqu'un signal interférant est détecté, une étape (180) de correction des corrélateurs du groupe de corrélateurs de poursuite en utilisant la fréquence du signal interférant déterminée et les corrélateurs des groupes de corrélateurs isolés.

[Revendication 11] Dispositif (40) de détection d'un signal interférant d'un récepteur GNSS, comprenant des moyens techniques (41, 42, 43) configurés pour mettre en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.

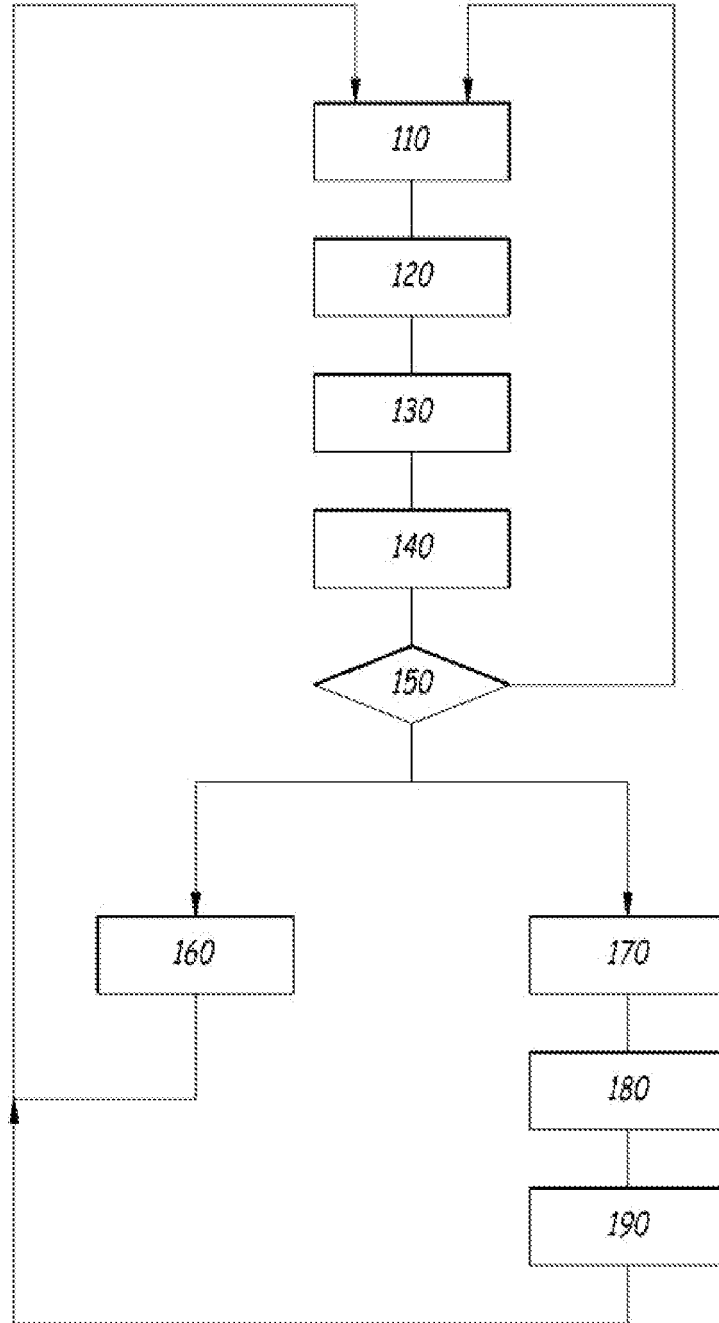
[Fig. 1]



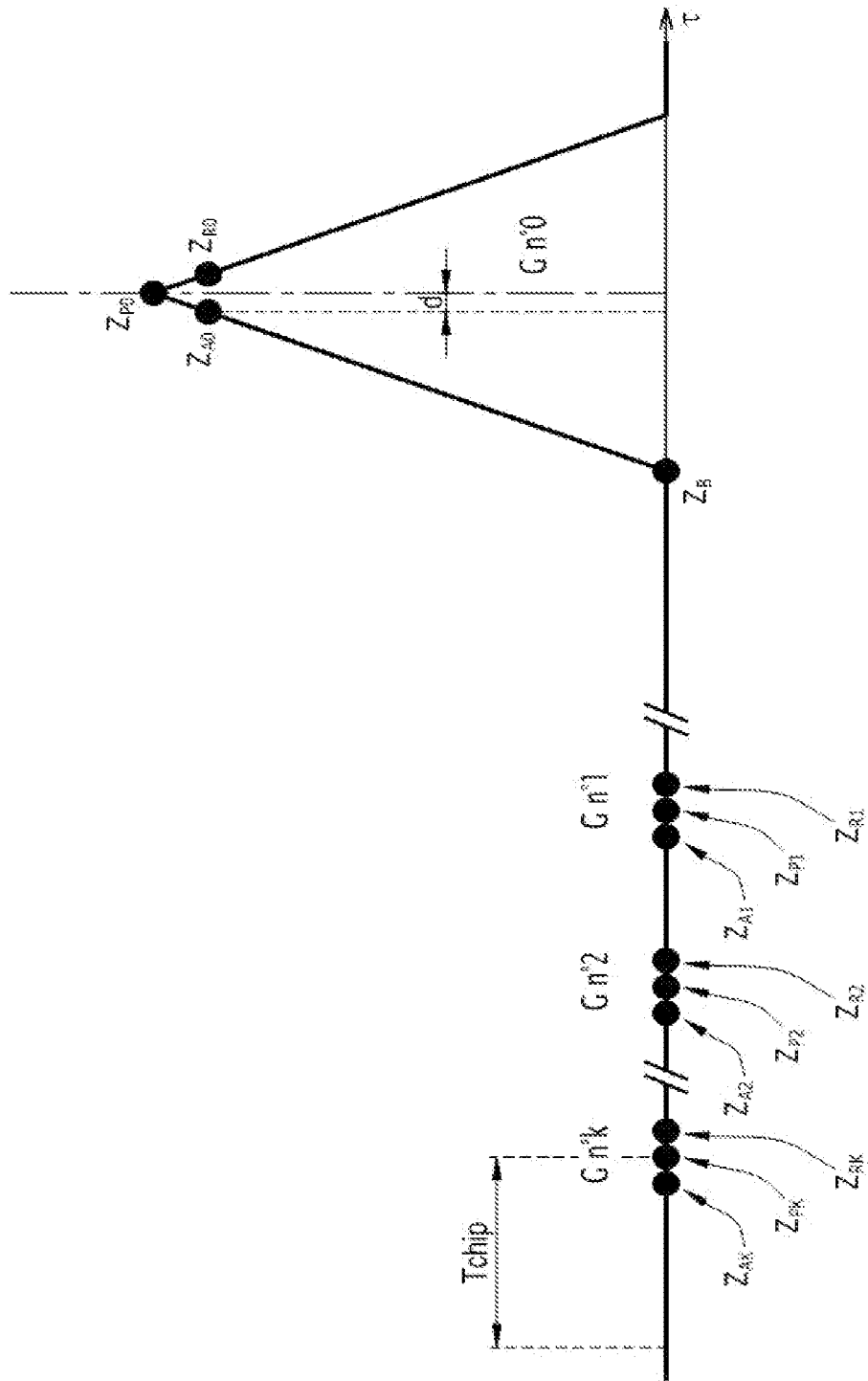
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

US 7 764 224 B1 (ANDERSON DAVID A [US])
27 juillet 2010 (2010-07-27)

US 2016/294438 A1 (RAASAKKA JUSSI [CZ] ET
AL) 6 octobre 2016 (2016-10-06)

US 2021/364644 A1 (DI GRAZIA DOMENICO [IT]
ET AL) 25 novembre 2021 (2021-11-25)

US 2020/371247 A1 (MARMET FRANÇOIS-XAVIER
[FR]) 26 novembre 2020 (2020-11-26)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT