(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
29 décembre 2016 (29.12.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/207169 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G01S 5/10 (2006.01) *G01S 1/20* (2006.01)
G01S 1/04 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2016/064323

(22) Date de dépôt international :
21 juin 2016 (21.06.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1555810 24 juin 2015 (24.06.2015) FR

(71) Déposant : **INSTITUT MINES-TELECOM** [FR/FR]; 9, rue Charles Fourier, 91000 Evry (FR).

(72) Inventeurs : **VERVISCH-PICOIS, Alexandre**; 4, rue Jules Moinaux, 37000 Tours (FR). **SAMAMA, Nel**; 51, avenue de la Libération, 94100 Saint-Maur des Fossés (FR).

(74) Mandataire : **CABINET NONY**; 11 rue Saint-Georges, 75009 Paris (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

WO 2016/207169 A1

(54) **Title** : METHOD FOR LOCATING A RECEIVER IN A POSITIONING SYSTEM

(54) **Titre** : PROCEDE DE LOCALISATION D'UN RECEPTEUR AU SEIN D'UN SYSTEME DE POSITIONNEMENT

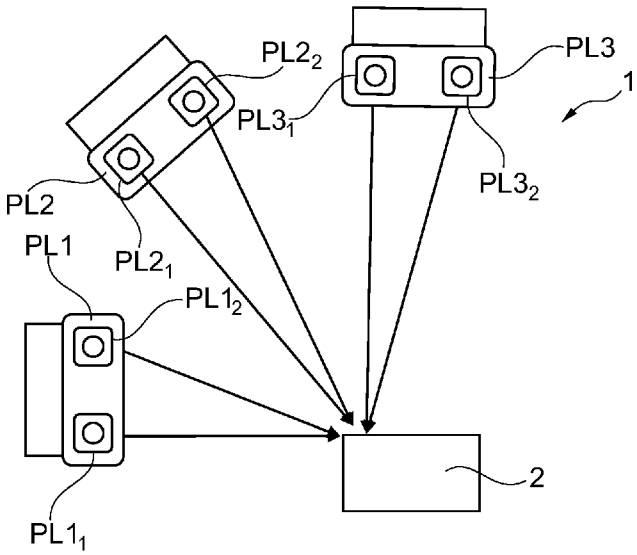

Fig. 1

(57) **Abstract** : The present invention relates to a method for locating at least one receiver (2) in a positioning system (1). The system includes: at least two generators (PL1, PL2), each generator emitting, on a single carrier, at least two signals that each have a different code, and a receiver (2) configured to detect the signals emitted by the generators (PL1, PL2). In said method: the receiver (2) measures, for each generator (PL1, PL2), the phase difference (δ^j) between both signals emitted by the generator (PLj), and at least one geometric size, representing the position (x_r, y_r) of the receiver (2) in relation to the generators (PL1, PL2), is calculated on the basis of said measurements of the phase difference (δ^j) in order to locate the receiver (2) in the positioning system (1).

(57) **Abrégé** : La présente invention concerne un procédé de localisation d'au moins un récepteur (2) au sein d'un système de positionnement (1), le système comprenant : - au moins deux générateurs (PL1, PL2), chaque générateur émettant sur une même porteuse au moins deux signaux ayant chacun un code différent, et - un récepteur (2) configuré pour détecter les signaux émis par les générateurs (PL1, PL2), procédé dans lequel : - le récepteur (2) mesure, pour chacun des générateurs (PL1, PL2), la différence de phase (δ^j) entre les deux signaux émis par le générateur (PLj), et - en fonction de ces mesures de différence de phase (δ

[Suite sur la page suivante]

Procédé de localisation d'un récepteur au sein d'un système de positionnement

La présente invention a pour objet un procédé de localisation d'au moins un récepteur au sein d'un système de positionnement ainsi qu'un tel système de positionnement.

L'invention s'applique plus particulièrement à des systèmes utilisant le multiplexage par le code, encore appelés en anglais « *code division multiple access* » (CDMA), ce qui est par exemple le cas du GPS (« *global positioning system* » en anglais) et du GNSS (« *global navigation satellite system* » en anglais). Ces systèmes mettent en œuvre des émetteurs émettant un signal comprenant une porteuse modulée par un code.

Les systèmes de positionnement connus reposent, pour la très grande majorité d'entre eux, sur une approche de triangulation ou de multilatération afin de définir, dans un repère global ou local, les coordonnées d'un terminal mobile, appelé récepteur.

D'autres approches reposent quant à elle sur un ensemble de mesures en coordonnées polaires afin d'obtenir les coordonnées du terminal cible.

Ces approches sont mises en œuvre au niveau du terminal, ou à un niveau plus général, tel qu'un serveur distant avec lequel communique le terminal, ou à la fois sur le terminal et sur le serveur. Les mesures conduisent à des distances ou à des angles.

Les systèmes de positionnement connus sont efficaces en milieu extérieur, à ciel ouvert, milieu dit « *outdoor* » en anglais, mais leurs performances se dégradent en milieu intérieur, dit « *indoor* » en anglais ou lorsque le ciel est obstrué par des immeubles ou obstacles hauts. De surcroît, le niveau de précision requis en intérieur est supérieur à celui requis en extérieur, l'environnement étant plus petit et plus dense en informations en intérieur.

Il est en outre important d'assurer la continuité de positionnement entre les milieux extérieur et intérieur.

Les réseaux de capteurs offrent des performances excellentes mais leur infrastructure présente une très forte contrainte. Les capteurs employés sont les capteurs à ultrasons, infrarouge, de pression ou encore des étiquettes électroniques. Ces dernières, notamment du type « Near Field Communication » (NFC), sont de plus en plus utilisées, mais ne permettent pas un positionnement continu, ni dans le temps ni dans l'espace.

Les techniques utilisant les réseaux de télécommunication mobiles, tels que GSM, UMTS, ou de quatrième génération dits « 4G », ou locaux, tels que Bluetooth, Bluetooth Low Energy (BLE), Wi-Fi ou Ultra Large Band (ULB), nécessitent une

infrastructure pouvant être déployée par ailleurs, pour des besoins autres que la localisation. Il est cependant nécessaire de mettre en œuvre également des moyens spécifiques à la localisation. Une approche fondée sur l'identification de cellule dans le cas de réseaux mobiles, appelée « *Cell-Id* » en anglais, a été développée pour les balises locales, évitant le recours aux diverses phases de calibration souvent requises. Cette technique est peu précise.

Des approches dites de « *positionnement symbolique* » ont été développées, comme décrit dans l'article de Magda Chelly et Nel Samama, « *WiFi Indoor Symbolic Positioning System Implemented On a PDA* », GNSS 2007, fondées sur une solution hybride utilisant l'identification de cellule dans les réseaux mobiles et les signaux GNSS, et proposant un positionnement continu, peu précis et fiable à ce jour.

Des systèmes inertiels sont également utilisés, mettant en œuvre une infrastructure réduite mais un terminal mobile complexe et une modélisation non triviale. Ces capteurs sont intégrés dans certains téléphones intelligents actuels, « *smartphones* » en anglais.

Les approches utilisant des capteurs détournent ces derniers de leur utilisation naturelle pour réaliser une fonction de localisation.

Les systèmes utilisant l'analyse des variations locales du champ magnétique permettent de bonnes performances, mais ne sont pas encore prêts techniquement pour être intégrés dans des smartphones. Des approches similaires reposent sur l'utilisation de balises magnétiques, et se rapprochent des techniques de type « *empreintes* » ou « *fingerprinting* » en anglais, couramment utilisées par les réseaux locaux de télécommunications.

Des systèmes optiques sont également connus, utilisant des caméras intégrées aux smartphones, mais conduisant à une complexité de calcul importante pour les processeurs de ces derniers. Les systèmes de reconnaissance d'images sont performants mais n'assurent pas une totale continuité : des contraintes de mise en œuvre persistent, ces systèmes requérant une action consciente de l'utilisateur pour effectuer la prise de vue, et nécessitant une image non floue, ce qui limite le mouvement du terminal mobile durant la prise de vue.

La technique dite « *Li-Fi* », pour « *Light Fidelity* » en anglais, émerge également. Cette approche s'apparente à la technique « Cell-Id » mentionnée plus haut, mais utilise les détecteurs de luminosité des smartphones, codant chaque luminaire en fonction de sa position par l'intermédiaire d'une modulation de la lumière, le smartphone décodant cette

modulation pour déterminer sa position. L'ergonomie d'usage d'une telle approche n'est pas optimale.

Les systèmes de type radar reposent sur des mesures de temps de parcours aller-retour d'une onde, permettant d'obtenir une distance, et sur des mesures de direction d'arrivée en coordonnées sphériques. Ces systèmes représentent une simplification plutôt élevée des contraintes habituelles d'un système de positionnement, à savoir la synchronisation entre les parties en présence et la diversité spatiale nécessaire. Un unique émetteur est suffisant pour déterminer une position. Néanmoins des terminaux mobiles dédiés sont nécessaires. Certaines approches utilisent des antennes doubles espacées d'une longueur d'onde du signal, et mesurent la différence de phases des signaux reçus des deux antennes pour définir l'angle d'arrivée du signal émis.

Des solutions utilisant les signaux GNSS ont été développées, notamment A-GPS pour « *Assisted GPS* » en anglais, et HSGNSS pour « *High Sensibility GNSS* » en anglais, offrant une amélioration des performances en positionnement dans des environnements auparavant non couverts par des satellites, et pouvant être mises en œuvre sans infrastructure dédiée. Ces solutions sont néanmoins limitées en termes de détection, de précision et de temps nécessaire à l'obtention d'une position.

Il est connu du brevet US 5 899 957 de corriger des signaux GPS porteurs de phase à une position arbitraire en utilisant des mesures de phase reçues de différentes stations GPS de base dont la position est connue, pour améliorer l'efficacité du positionnement.

Le brevet US 4 646 096 décrit un procédé utilisant le principe du mouvement de la constellation de satellites autour d'un récepteur en mesurant et stockant les variations de phase des porteuses correspondant aux signaux provenant desdits satellites, afin de déterminer l'ambiguïté entière des mesures du code des signaux correspondants pour des récepteurs monocanal.

Il est connu, notamment du brevet US 7 212 155, d'utiliser des mesures de variation de la phase de porteuses de signaux provenant de satellites, sans utiliser de station de base, pour corriger progressivement une position hypothétique de départ d'un récepteur en mouvement.

Il est connu des brevets US 7 671 794 et US 6 549 165 des systèmes de positionnement utilisant des mesures de différence de phase réalisées soit sur deux antennes distinctes en réception, soit entre deux signaux émis à des fréquences différentes.

La demande WO 2014/060777 décrit le positionnement d'un terminal mobile, utilisant un signal envoyé par ledit terminal et reçu par des antennes multiples de points d'accès multiples sans fil, et se fondant sur des calculs de différence de phase entre les différentes antennes pour obtenir un angle d'arrivée du signal sur les antennes.

La plupart des méthodes précédemment décrites nécessitent de coupler ou fusionner plusieurs techniques et/ou technologies afin de parvenir à la continuité de positionnement entre les milieux extérieur et intérieur.

Les approches connues à base de répélites mettent à profit les récepteurs et les signaux GNSS transmis, afin de permettre à un unique récepteur GNSS, présent dans le terminal mobile, d'assurer une fonction de localisation.

Ces approches utilisent le concept de pseudo-satellites, ou « *pseudolites* », c'est-à-dire un réseau d'émetteurs terrestres transmettant des signaux de même structure que les signaux envoyés par un satellite, comme décrit dans l'article de Kee C. et al. "*Centimeter-Accuracy Indoor Navigation Using GPS-Like Pseudolites*", GPS World 2001, pages 14-20. Les mesures les plus précises des signaux GNSS, qui permettent en particulier un positionnement centimétrique dans de bonnes conditions de réception en extérieur, sont utilisées dans ces approches, offrant des performances expérimentales de grande qualité, et étant fiables et simples à utiliser. Elles permettront à court terme de réduire le nombre d'émetteurs nécessaires et de simplifier la gestion du système, notamment en supprimant la synchronisation ou en utilisant des émetteurs bas coût. Les signaux élaborés dans le cadre du projet européen de système de positionnement par satellites « *Galileo* » permettent une réduction importante des niveaux d'interférence, laissant à penser qu'il sera possible de conserver les bandes utilisées par les signaux GNSS pour assurer la continuité complète de la fonction de localisation.

La géolocalisation utilisant des pseudolites calcule des intersections géométriques de sphères centrées en des points connus, les positions des pseudolites, en utilisant le temps de propagation des signaux pour mesurer les rayons des sphères, comme décrit dans le chapitre 2 du livre de Kaplan E. et Hegarty C. "*Understanding GPS Principles and Applications*", Artech House, 2006, 2nde édition. Le temps de propagation d'un signal peut être mesuré grâce au code ou à la porteuse du signal. Cependant, le phénomène de chemins multiples, dit « *multipath* » en anglais, affecte fortement les temps de mesure en extérieur, et encore plus en intérieur, à cause de la présence de nombreux obstacles, comme

décrit dans le chapitre 6 du livre susmentionné et dans l'article de Fluerasu A. et al. "*Multipath modelisation of typical indoor environments optimisation of GNSS based indoor positioning*", ENC-GNSS 2008. Il a été démontré qu'il est difficile d'obtenir des mesures précises à plus de 2 ou 3 mètres en utilisant uniquement des mesures de code, dans les articles de Jardak N. et Samama N. "*Short Multipath Insensitive Code Loop Discriminator*", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 2010, vol 46, pages 278-295, de Vervisch-Picois A. et al. "*2D Indoor Dynamic Positioning Using GNSS Based Repeaters*", ION GNSS 2006, et de Jee G. I. et al. " *Indoor Positioning Using Time Synchronised Switching GPS Repeater*", ION GNSS 2005.

Les mesures de la phase de la porteuse ont l'avantage d'être moins sensibles au problème de chemins multiples, et permettent une précision de quelques dizaines de centimètres, comme présenté dans les articles de Rizos C. et al. "*LocataNet: Intelligent Time-Synchronised Pseudolite Transceivers for cm-Level Stand-Alone Positioning*", IAIN World Congress 2003, et de I. Selmi et al. "*Experimental Positioning Results of the Repealite Based Indoor Positioning System*", IEEE International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation 2012.

Cependant, il est difficile de réaliser un positionnement absolu avant de connaitre l'ambiguïté de la phase de la porteuse issue de chaque pseudolite. Cette ambiguïté N_k correspond au résultat de la division euclidienne de la distance de propagation par la longueur d'onde de la porteuse : $D_{PLk} = \phi_k + \lambda.N_k$, avec D_{PLK} la distance entre le récepteur et le pseudolite k, ϕ_k la valeur de la phase de la porteuse, et λ la longueur d'onde, par exemple égale à 0,19 m pour le signal L1 GPS.

Pour résoudre ce problème en intérieur, des méthodes utilisant les principes liés au milieu extérieur sont connues, décrites dans les articles de Kee C. et al. "*Development of indoor Navigation System using asynchronous pseudolites*", ION GPS 2000, de Xiaoguang Wan et al. "*The Pseudolite-based Indoor Navigation System Using Ambiguity Resolution On The Fly*", IEEE 3rd International Symposium on Systems and Control in Aeronautic and Astronautics 2010, pages 212–217, et de Puengnim A. et al. "*Precise Positioning for Virtually Synchronized Pseudolite System*", IEEE International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation 2013, pages 1–8. Néanmoins, l'hypothèse de linéarité du milieu extérieur n'étant pas valable en intérieur, la méthode décrite par Kee et al. repose sur une version non linéaire de l'algorithme de positionnement décrit dans le chapitre 2 du livre

susmentionné, conduisant à une convergence de l'algorithme non garantie dans certaines situations. Les méthodes décrites dans les articles de Xiaoguang Wan et al. et Puengnim A. et al. reposent sur l'utilisation de filtres de Kalman étendus, la première mettant en œuvre des mesures du code des signaux et l'approche « Least square AMBiguity Adjustement » (LAMBDA) avec une position initiale statique, et la deuxième utilisant le mouvement du récepteur pour linéariser le problème.

Les approches décrites dans les articles de Petrovski I. et al. "*Precise Navigation Indoor*", IEEE SICE Annual Conference 2004, vol 2, pages 1739–1744, et de Kao Wei-Wen et Tsai Chin-Lang, "*Carrier Phase Indoor Positioning using Pseudolites And INS*" ION GNSS 2003, se fondent sur le même principe mais en utilisant le mouvement, de la station de base dans le premier cas, ou du récepteur, à l'aide d'un capteur inertiel dans le deuxième cas.

D'autres approches utilisant uniquement des mesures Doppler sont connues, notamment décrites dans l'article de Schelkshorn S. et Detlefsen J. "*Indoor Navigation Based On Doppler Measurements*", IEEE Workshop on Positioning, Navigation and Communication 2007, pages 37–40. Cet article présente une approche effectuant simultanément des mesures Doppler d'un objet en mouvement à localiser par quatre capteurs situés à différentes positions. L'article de Sakamoto Y. et al. "*Doppler Positioning with a Movable Receiver Antenna and a Single Pseudolite for Indoor Localization*", IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics 2011, pages 19–24, présente une méthode de positionnement par Doppler uniquement appliquée à un robot ayant une antenne rotative.

Il existe un besoin pour obtenir une localisation précise au sein d'un système de positionnement, permettant la continuité entre les milieux intérieur et extérieur, et mettant en œuvre une infrastructure peu complexe et compatible avec l'ensemble des terminaux mobiles actuels.

L'invention a pour but de répondre à ce besoin et elle y parvient, selon l'un de ses aspects, grâce à un procédé de localisation d'au moins un récepteur au sein d'un système de positionnement, le système comprenant :

- au moins deux générateurs, chaque générateur émettant sur une même porteuse au moins deux signaux ayant chacun un code différent, et
- un récepteur configuré pour détecter les signaux émis par les générateurs,

procédé dans lequel :

- le récepteur mesure, pour chacun des générateurs, la différence de phase entre les deux signaux émis par le générateur, et
- en fonction de ces mesures de différence de phase, on calcule au moins une grandeur géométrique représentative de la position du récepteur par rapport aux générateurs, afin de localiser le récepteur au sein du système de positionnement.

Les deux signaux émis par chaque générateur sont de préférence émis à partir de deux zones d'émission du générateur distantes l'une de l'autre d'une distance prédéfinie d_{12}.

Les deux signaux émis par chaque générateur sont avantageusement émis à la même fréquence.

La méthode selon l'invention s'affranchit, lors des mesures, de la connaissance de la valeur absolue de la distance séparant le générateur du récepteur. L'invention produit des mesures instantanées non ambiguës permettant d'obtenir un positionnement absolu.

Les mesures des grandeurs géométriques représentatives de la position du récepteur par rapport aux générateurs sont possibles, avec une précision élevée, par exemple décimétrique ou centimétrique, par des mesures de différence de phase de signaux radio, notamment de type GNSS. La méthode de localisation selon l'invention a une sensibilité moins grande aux perturbations dues à la propagation des signaux.

Les mesures sont faites pour une seule position du récepteur, qui n'a ainsi pas besoin d'être mobile dans l'environnement.

En fonction du signe des différences de phase mesurées, les symétries potentielles sont éliminées et un unique point est obtenu.

L'invention ne nécessite qu'une infrastructure réduite, notamment un nombre réduit de générateurs, indépendants les uns des autres, et ne nécessitant pas d'être synchronisés entre eux. L'utilisation de générateurs à deux codes permet d'utiliser un récepteur n'ayant qu'une antenne, correspondant à un « *radar inversé* ».

L'invention permet la continuité du positionnement entre les milieux extérieurs et intérieurs.

Une fois que la position initiale du récepteur est déterminée, un positionnement selon les méthodes connues peut être réalisé.

L'invention peut être mise en œuvre avec tous les récepteurs de terminaux mobiles actuels, notamment de téléphones portables.

Le procédé peut être mis en œuvre en intérieur (en *indoor*), servant par exemple pour le positionnement d'objets dans des zones non couvertes par le GPS ou le GNSS, par exemple des bâtiments.

Le procédé selon l'invention se fonde avantageusement sur la génération de signaux de type GNSS transmis par voie radio, par exemple sur des fréquences RNSS, « *Radio Navigation Satellite Services* » en anglais, susceptibles d'être traités par des récepteurs GNSS, au moins en ce qui concerne leur traitement numérique.

La fréquence des signaux émis par les générateurs peut être quelconque, mais est de préférence égale à 1,575 GHz, les signaux étant par exemple de type GNSS Galileo.

Le terme « *émetteur* » peut se substituer au terme « *générateur* », et vice-versa.

Angle d'arrivée des signaux sur le récepteur

Dans un premier mode de réalisation de l'invention, la grandeur géométrique représentative de la position du récepteur par rapport à un générateur est l'angle d'arrivée α des signaux émis par le générateur *j* sur le récepteur, fonction de la distance prédéfinie d_{12} entre les deux zones d'émission du générateur et des mesures de différence de phase $\delta\varphi^j$, et défini par : $\alpha_j = Arc\cos\left(\frac{\delta\varphi^j}{d_{12}^j}\right)$.

L'angle est avantageusement pris dans le plan défini par les deux zones d'émission du générateur et le récepteur. On considère que l'angle au milieu des deux zones d'émission est identique aux angles issus directement de chaque zone vers le récepteur, ce qui est le cas lorsque le récepteur est infiniment éloigné desdites zones d'émission. Il est avantageux que la distance entre les zones d'émission et le récepteur soit supérieure à au moins dix fois la distance prédéfinie entre les zones, étant par exemple supérieure à 2 mètres.

Au moins un deuxième calcul d'angle est avantageusement réalisé avec au moins un deuxième générateur, afin de réaliser une intersection géométrique.

L'utilisation de l'angle comme grandeur géométrique rend le procédé simple, et fonctionne même à bonne distance, en supposant que les lignes d'émission des signaux sont parallèles.

Distance entre un générateur et le récepteur

Dans une variante ou en combinaison, la grandeur géométrique représentative de la position (x_r, y_r) du récepteur par rapport à un générateur est la distance les séparant, fonction des distances d_1, d_2 entre la position (x_{a1}, y_{a1}, x_{a2}, y_{a2}) de chaque zone d'émission

du générateur et la position du récepteur, définies par exemple par : $d_2 - d_1 = \sqrt{(x_{a2} - x_r)^2 + (y_{a2} - y_r)^2} - \sqrt{(x_{a1} - x_r)^2 + (y_{a1} - y_r)^2} = \delta\varphi$ pour un positionnement en deux dimensions (2D).

Après développement, on peut obtenir:

$$4\delta\varphi^2 d_1^{\,2} = \left(d_2^{\,2} - d_1^{\,2}\right)^2 + \delta\varphi^4 - 2\delta\varphi^2\left(d_2^{\,2} - d_1^{\,2}\right),$$

avec:

$$\begin{aligned} d_2^{\,2} - d_1^{\,2} &= (x_{a2} - x_r)^2 + (y_{a2} - y_r)^2 - \left[(x_{a1} - x_r)^2 + (y_{a1} - y_r)^2\right] \\ &= \left(x_{a2}^{\,2} - x_{a1}^{\,2}\right) + 2(x_{a1} - x_{a2})x_r + \left(y_{a2}^{\,2} - y_{a1}^{\,2}\right) + 2(y_{a1} - y_{a2})y_r \end{aligned}.$$

Et, par suite, on peut obtenir les expressions suivantes :

$$\begin{aligned} d_2^{\,2} - d_1^{\,2} &= 2\Delta X_{12}x_r + 2\Delta Y_{12}y_r + \Delta^2 X_{21} + \Delta^2 Y_{21} \\ \left(d_2^{\,2} - d_1^{\,2}\right)^2 &= 4\Delta X_{12}^{\,2}x_r^{\,2} + 4\Delta Y_{12}^{\,2}y_r^{\,2} + \left(\Delta^2 X_{21} + \Delta^2 Y_{21}\right)^2 \\ &\quad + 8\Delta X_{12}\Delta Y_{12}x_r y_r + 4\Delta X_{12}\left(\Delta^2 X_{21} + \Delta^2 Y_{21}\right)x_r + 4\Delta Y_{12}\left(\Delta^2 X_{21} + \Delta^2 Y_{21}\right)y_r \end{aligned},$$

dans lesquelles:

$$\Delta X_{12} = x_{a1} - x_{a2} \quad \text{et} \quad \Delta Y_{12} = y_{a1} - y_{a2},$$
$$\Delta^2 X_{21} = x_{a2}^{\,2} - x_{a1}^{\,2} \quad \text{et} \quad \Delta^2 Y_{21} = y_{a2}^{\,2} - y_{a1}^{\,2}.$$

On obtient la relation générale suivante, fonction des distances entre la position de chaque zone d'émission du générateur et la position du récepteur :

$$\begin{aligned} &x_r^{\,2}\left[\delta\varphi^2 - \Delta X_{12}^{\,2}\right] + x_r\left[\delta\varphi^2\Delta X_{12} - 2\delta\varphi^2 x_{a1} - \Delta X_{12}\left(\Delta^2 X_{21} + \Delta^2 Y_{21}\right)\right] \\ &+ y_r^{\,2}\left[\delta\varphi^2 - \Delta Y_{12}^{\,2}\right] + y_r\left[\delta\varphi^2\Delta Y_{12} - 2\delta\varphi^2 y_{a1} - \Delta Y_{12}\left(\Delta^2 X_{21} + \Delta^2 Y_{21}\right)\right] \\ &- 2\Delta X_{12}\Delta Y_{12}x_r y_r \\ &+ \delta\varphi^2\left(x_{a1}^{\,2} + y_{a1}^{\,2}\right) + \frac{\delta\varphi^2}{2}\left(\Delta^2 X_{21} + \Delta^2 Y_{21}\right) - \frac{1}{4}\left(\Delta^2 X_{21} + \Delta^2 Y_{21}\right)^2 - \frac{\delta\varphi^4}{4} \\ &= 0 \end{aligned},$$

dont il est possible de simplifier la forme globale comme suit :

$$A\left(x_r - x_{ref}\right)^2 + B\left(y_r - y_{ref}\right)^2 + C\,x_r y_r + D = 0,$$

avec A, B C et D d'une part, et x_{ref} et y_{ref} d'autre part, des coefficients déterminés par la géométrie du problème et la mesure de différence de phase $\delta\varphi$.

Cela revient à déterminer une hyperbole pour un positionnement en deux dimensions, ou un hyperboloïde en trois dimensions (3D) sur lequel se trouve le récepteur, les zones d'émission des générateurs étant leurs foyers.

Au moins un deuxième générateur est avantageusement utilisé pour obtenir un système d'équations et une intersection des hyperboles, pour obtenir la position (x_r, y_r) du récepteur.

L'utilisation comme grandeur géométrique de la distance séparant le récepteur d'un générateur, et l'expression sous la forme d'hyperboles, ne nécessite aucune approximation.

Générateurs

L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, un générateur destiné à être utilisé au sein d'un système de positionnement, ledit système comprenant au moins un autre générateur et un récepteur configuré pour détecter les signaux émis par ledit générateur et l'autre générateur, ledit générateur étant configuré pour émettre sur une même porteuse au moins deux signaux ayant chacun un code différent, le récepteur étant configuré pour mesurer la différence de phase entre lesdits deux signaux émis par le générateur.

Il faut au moins deux générateurs pour un positionnement en deux dimensions et trois générateurs pour un positionnement en trois dimensions pour réaliser les intersections géométriques et obtenir un point unique.

La position des générateurs au sein du système de positionnement est supposée connue. Les générateurs sont de préférence statiques.

Les deux signaux émis par chaque générateur peuvent être issus d'au moins deux antennes appartenant au générateur et distantes l'une de l'autre d'une distance prédéfinie.

La distance prédéfinie dont les deux antennes d'un même générateur sont distantes l'une de l'autre est avantageusement égale à la longueur d'onde de la porteuse des signaux émis par les antennes. Cela permet d'obtenir des mesures non ambiguës au niveau du récepteur.

Les signaux émis par un même générateur sont de préférence synchronisés entre eux, par exemple en interne par le générateur.

Chaque générateur émet avantageusement sur une fréquence différente. Cela permet d'éliminer le problème du phénomène d'éblouissement ou d'interférence intrinsèque entre deux signaux émettant sur une même fréquence.

Récepteur

L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, un récepteur destiné à être utilisé au sein d'un système de positionnement comprenant au moins deux générateurs, chaque générateur émettant sur une même porteuse au moins deux signaux ayant chacun un code différent, le récepteur détectant les signaux émis par les générateurs, le récepteur étant configuré pour :

- mesurer, pour chacun des générateurs, la différence de phase entre les deux signaux émis par le générateur, et
- en fonction de ces mesures de différence de phase, que soit calculée au moins une grandeur géométrique représentative de la position du récepteur par rapport aux générateurs, afin de localiser le récepteur au sein du système de positionnement.

Le récepteur comporte avantageusement une boucle à verrouillage de phase configurée pour mesurer les phases des signaux émis par les générateurs.

Le récepteur est avantageusement multicanal, au moins un premier canal étant configuré pour détecter le premier signal d'un générateur, et au moins un deuxième canal étant configuré pour détecter le deuxième signal du même générateur.

Le récepteur peut être statique ou mobile.

On peut utiliser comme récepteur un récepteur standard, GNSS par exemple, aucune modification d'un tel récepteur n'étant nécessaire pour mettre en œuvre le procédé selon l'invention.

Système de positionnement

L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, un système de positionnement, comportant :

- au moins deux générateurs, chaque générateur émettant sur une même porteuse au moins deux signaux ayant chacun un code différent, et
- un récepteur détectant les signaux émis par les générateurs,

le système étant configuré pour que :

- le récepteur mesure, pour chacun des générateurs, la différence de phase entre les deux signaux émis par le générateur, et
- en fonction de ces mesures de différence de phase, soit calculée au moins une grandeur géométrique représentative de la position du récepteur par rapport aux générateurs, afin de localiser le récepteur au sein du système de positionnement.

Variations de la distance récepteur-émetteurs

En variante ou en combinaison, l'invention a encore pour objet un procédé de localisation d'au moins un récepteur au sein d'un système de positionnement, le système comprenant :

- au moins deux émetteurs, chaque émetteur émettant un signal comprenant une porteuse modulée par un code, et
- un récepteur mobile au sein du système, configuré pour détecter les signaux émis par les émetteurs,

procédé dans lequel :

- durant le déplacement du récepteur, à partir d'une position initiale estimée prédéfinie de ce dernier, on effectue des mesures successives de la phase de la porteuse du signal émis par chaque émetteur, pour différentes positions ultérieures du récepteur,
- on calcule les variations de la phase de la porteuse des signaux entre chaque position ultérieure du récepteur pour laquelle la phase a été mesurée et la position initiale estimée du récepteur, pour chaque émetteur, et
- on utilise ces variations de phase pour calculer la variation de distance entre le récepteur et les émetteurs, afin de déterminer la position initiale réelle du récepteur au sein du système de positionnement.

La combinaison des deux procédés définis ci-dessus présente un certain intérêt. Un système complet de positionnement mettant en œuvre ces deux procédés permet, à partir des mêmes mesures de phases, d'avoir au moins trois modes de fonctionnement : un positionnement absolu en effectuant des différences, à un instant donné, entre les deux antennes d'un générateur et cela pour plusieurs générateurs, puis un positionnement relatif à partir de la position obtenue, d'une précision décimétrique, par mesures de différence de phases à des instants successifs, puis un positionnement absolu en mouvement par analyses de l'évolution de la phase des porteuses en provenance des diverses antennes à plusieurs instants successifs.

Comme évoqué précédemment, et comme représenté à la figure 6, un pseudolite PL1, PL2, PL3, PL4 est un émetteur synchronisé sur un système global 31 de temps de référence, commun à l'ensemble de la constellation. On peut mesurer la pseudo-distance $PR_k(t)$ d'un pseudolite *plk* à un instant t, ou « *pseudorange* » en anglais, correspondant à une mesure indirecte de distance par le repérage de l'instant de réception d'un signal provenant

du pseudolite et daté à l'émission, lorsque les horloges du pseudolite et du récepteur 30 ne sont pas synchronisées. Cette mesure peut s'exprimer par :

$$\sqrt{(x(t)-x_{plk})^2+(y(t)-y_{plk})^2+(z(t)-z_{plk})^2}+c.b(t)=PR_k(t),$$

avec (x(t), y(t), z(t)) les coordonnées du récepteur à l'instant t, (x_{plk}, y_{plk}, z_{plk}) les coordonnées du pseudolite *plk*, supposées connues, c la vitesse de la lumière et b(t) le biais d'horloge entre le temps de référence de la constellation et l'horloge du récepteur à l'instant t. Il est à noter que la hauteur z est considérée comme connue dans le cas d'un positionnement en deux dimensions.

La pseudo-distance peut être mesurée en utilisant le délai du code ou la phase de la porteuse du signal entrant. Dans le cas où la phase est utilisée, l'expression devient :

$$\sqrt{(x(t)-x_{plk})^2+(y(t)-y_{plk})^2+(z(t)-z_{plk})^2}+c.b(t)=\phi_k(t)+\lambda.N_k,$$

avec ϕ_k la phase de la porteuse dépendant du temps t, λ la longueur d'onde et N_k l'ambiguïté de la phase introduite précédemment, ne dépendant pas du temps.

Comme l'ambiguïté de la phase ne dépend pas du temps, il est avantageux, pour l'éliminer, de mesurer la pseudo-distance d'un émetteur selon l'invention à deux moments successifs t_1 et t_2 et de soustraire les équations obtenues :

$$\begin{aligned}&\sqrt{(x(t_2)-x_{plk})^2+(y(t_2)-y_{plk})^2+(z(t_2)-z_{plk})^2}\\&-\sqrt{(x(t_1)-x_{plk})^2+(y(t_1)-y_{plk})^2+(z(t_1)-z_{plk})^2}\\&+c.(b(t_2)-b(t_1))\\&=\phi_k(t_2)-\phi_k(t_1)\end{aligned}$$

Dans un souci de simplicité, dans la suite, un positionnement en deux dimensions sera considéré, et les inconnues $x(t_1)$, $y(t_1)$, $x(t_2)$, $y(t_2)$ et $b(t_2)$-$b(t_1)$ seront notées respectivement x_1, y_1, x_2, y_2 et Δb_{12}, et la phase $\phi_k(t_j)$ sera notée ϕ_k^j.

Au moins un troisième instant t_3 peut être considéré, correspondant à une position du récepteur x_3, y_3 et à un biais d'horloge $b(t_3)$, pour obtenir une nouvelle mesure et augmenter le nombre d'équations.

Le nombre d'émetteurs n_{pl} est avantageusement fonction de la dimension m du positionnement et du nombre de mesures k_{pt} réalisées pour des positions différentes du récepteur :

$$m.(1+\frac{1}{k_{pt}}) \leq n_{pl} .$$

Cette relation permet de connaître le nombre minimum d'émetteurs nécessaires pour la bonne mise en œuvre du procédé selon l'invention.

La dimension m du positionnement peut être égale à deux ou trois, correspondant respectivement à un positionnement en deux ou en trois dimensions.

Dans le cas d'un nombre limité d'émetteurs, notamment deux émetteurs, des indications supplémentaires peuvent faciliter la détermination de la position initiale du récepteur, par exemple une observation de la zone de l'environnement dans lequel évolue le récepteur et de sa trajectoire, permettant de discriminer certaines symétries, et/ou de déterminer si la trajectoire du récepteur coupe ou non la droite passant par les deux émetteurs.

Le procédé selon l'invention permet de s'adapter aux conditions requises et disponibles : un nombre plus élevé d'émetteurs peut être utilisé si peu de mesures de la phase doivent être réalisées, par exemple pour obtenir rapidement la position du récepteur, ou, au contraire, un plus faible nombre d'émetteurs peut être utilisé si une infrastructure réduite est souhaitée, un nombre plus élevé de mesures de la phase étant alors réalisé. La longueur du déplacement du récepteur entre deux positions est également à déterminer, selon la géométrie de la région couverte par le système de positionnement.

Le système d'équations obtenues selon le nombre de mesures effectuées peut être linéarisé et résolu itérativement par l'algorithme de Newton ou par l'algorithme des moindres carrés, appelé « *Least-Square* » en anglais.

On peut calculer la variation de la phase de la porteuse entre une position ultérieure (x_j, y_j, z_j) et la position initiale estimée prédéfinie (x_1, y_1, z_1) du récepteur, correspondant à l'instant t_1 et à l'instant ultérieur t_j, par la relation :

$$\sqrt{(x_j - x_{plk})^2 + (y_j - y_{plk})^2 + (z - z_{plk})^2} - \sqrt{(x_1 - x_{plk})^2 + (y_1 - y_{plk})^2 + (z - z_{plk})^2} + c.\Delta b_{1j} = \phi_k^j - \phi_k^1 .$$

On peut utiliser une série de Taylor du premier ordre pour calculer la variation de la phase de la porteuse :

$$-a_{x_k}^1 dx_1 - a_{y_k}^1 dy_1 + a_{x_k}^j dx_j + a_{y_k}^j dy_j + c.d\Delta b_{1j} = \phi_k^j - \phi_k^1 - (\hat{\rho}_k^j - \hat{\rho}_k^1),$$

avec $\hat{\rho}_k^u = \sqrt{(x_u - x_{plk})^2 + (y_u - y_{plk})^2 + (z - z_{plk})^2} + c.b(t_u)$,

$a_{x_k}^u = -\frac{(x_{plk} - \hat{x}_u)}{\sqrt{(\hat{x}_u - x_{plk})^2 + (\hat{y}_u - y_{plk})^2 + (z - z_{plk})^2}}$, et $a_{y_k}^u = -\frac{(y_{plk} - \hat{y}_u)}{\sqrt{(\hat{x}_u - x_{plk})^2 + (\hat{y}_u - y_{plk})^2 + (z - z_{plk})^2}}$.

Les valeurs dx_1, dy_1, dx_j, dy_j et $d\Delta b_{1j}$, correspondant à la variation de distance entre la position initiale estimée et la position initiale réelle du récepteur, sont avantageusement déterminées à chaque itération de l'algorithme.

Un produit de matrices est avantageusement utilisé pour calculer la variation de distance ΔX entre le récepteur et les émetteurs : $H.\Delta X = d\Delta\phi$,

avec $H = \begin{bmatrix} -A_1 & A_2 & 0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ -A_1 & 0 & A_3 & 0 & \ddots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ -A_1 & 0 & \cdots & 0 & A_i & 0 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ -A_1 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & A_{k_{pt}} \end{bmatrix}$,

$A_1 = \begin{bmatrix} a_{x_1}^1 & a_{y_1}^1 \\ \vdots & \vdots \\ a_{x_{n_{pl}}}^1 & a_{y_{n_{pl}}}^1 \end{bmatrix}$ pour $j = 1$, $A_j = \begin{bmatrix} a_{x_1}^j & a_{y_1}^j & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{x_{n_{pl}}}^j & a_{y_{n_{pl}}}^j & 1 \end{bmatrix}$ pour $j > 1$, et

$$\Delta X = \begin{bmatrix} dx_1 \\ dy_1 \\ dx_2 \\ dy_2 \\ c.d\Delta b_{12} \\ \vdots \\ dx_i \\ dy_i \\ c.d\Delta b_{1i} \\ \vdots \\ dx_{k_{pt}} \\ dy_{k_{pt}} \\ c.d\Delta b_{1k_{pt}} \end{bmatrix}, d\Delta\phi = \begin{bmatrix} \phi_1^2 - \phi_1^1 - (\hat{\rho}_1^2 - \hat{\rho}_1^1) \\ \vdots \\ \phi_{n_{pl}}^2 - \phi_{n_{pl}}^1 - \left(\hat{\rho}_{n_{pl}}^2 - \hat{\rho}_{n_{pl}}^1\right) \\ \phi_1^3 - \phi_1^1 - (\hat{\rho}_1^3 - \hat{\rho}_1^1) \\ \vdots \\ \phi_{n_{pl}}^3 - \phi_{n_{pl}}^1 - \left(\hat{\rho}_{n_{pl}}^3 - \hat{\rho}_{n_{pl}}^1\right) \\ \vdots \\ \vdots \\ \phi_1^{k_{pt}} - \phi_1^1 - \left(\hat{\rho}_1^{k_{pt}} - \hat{\rho}_1^1\right) \\ \vdots \\ \phi_{n_{pl}}^{k_{pt}} - \phi_{n_{pl}}^1 - \left(\hat{\rho}_{n_{pl}}^{k_{pt}} - \hat{\rho}_{n_{pl}}^1\right) \end{bmatrix}.$$

La matrice H peut être inversée pour obtenir la matrice de variations de distance $\Delta X = d\Delta\phi . H^{-1}$.

Le procédé selon l'invention est de préférence réitéré tant que la variation de distance entre le récepteur et les émetteurs est supérieure à un premier seuil prédéfini.

Le choix de la position initiale estimée du récepteur est fondamental pour la convergence de l'algorithme. Le procédé selon l'invention comporte avantageusement une étape dans laquelle, si la variation de distance entre le récepteur et les émetteurs est supérieure à un deuxième seuil prédéfini, on modifie la position initiale estimée prédéfinie du récepteur. Les mesures de phase peuvent être réitérées à partir de cette nouvelle position initiale estimée.

Lorsque la variation de distance entre le récepteur et les émetteurs est inférieure au premier seuil prédéfini, on vérifie si la position initiale du récepteur ainsi déterminée appartient à la région couverte par le système de positionnement, délimitée par les positions des émetteurs.

Si la position initiale du récepteur déterminée appartient à la région couverte par le système de positionnement, la position initiale estimée du récepteur est avantageusement retenue comme position réelle, sinon, on peut réitérer le procédé selon l'invention.

Les émetteurs peuvent être tels que les générateurs définis précédemment.

L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, d'exemples non limitatifs de mise en œuvre de celle-ci, et à l'examen du dessin annexé, sur lequel :

- la figure 1 représente de façon schématique un système de positionnement dans lequel peut être mis en œuvre un procédé selon l'invention,
- la figure 2 représente la géométrie mise en œuvre dans un système de positionnement selon l'invention,
- les figures 3 à 5 sont des courbes montrant les performances du procédé selon l'invention,
- la figure 6 représente de façon schématique un système de positionnement, selon l'art antérieur, utilisant des pseudolites,
- la figure 7 illustre des étapes de mise en œuvre d'une variante de procédé selon l'invention,
- la figure 8 représente de façon schématique un système de positionnement dans lequel peut être mis en œuvre une variante de procédé selon l'invention, et
- la figure 9 illustre un résultat de trajectoire d'un récepteur obtenue par la mise en œuvre d'une variante de procédé selon l'invention.

On a représenté à la figure 1 un exemple de système de positionnement 1 dans lequel peut être mise en œuvre l'invention.

Le système comprend un récepteur 2 et trois générateurs PL1, PL2, PL3 formant une constellation locale. Le système 1 peut être mis en œuvre en intérieur (en *indoor*), par exemple à l'intérieur d'un bâtiment, ou à l'extérieur dans une zone très urbaine, entre des murs très hauts par exemple.

Chaque générateur PL1, PL2, PL3 émet, dans l'exemple décrit, sur une même porteuse, deux signaux ayant chacun un code différent. Ces deux signaux sont émis à partir de deux zones d'émission $PL1_1$, $PL1_2$ du générateur PL1 distantes l'une de l'autre d'une distance prédéfinie d_{12}. Dans l'exemple décrit et de préférence, les deux signaux émis par chaque générateur PL1, PL2, PL3 sont issus de deux antennes appartenant au générateur et distantes l'une de l'autre d'une distance prédéfinie égale à la longueur d'onde de la porteuse des signaux émis par les antennes.

Les signaux émis par un même générateur sont de préférence synchronisés entre eux. Chaque générateur PL1, PL2, PL3 émet de préférence sur une fréquence différente. Les signaux émis par les générateurs PL1, PL2, PL3 sont par exemple des signaux GNSS de fréquence égale à 1,575 GHz.

Le récepteur 2 est configuré pour détecter les signaux émis par les générateurs. Ces derniers sont par exemple reçus par l'antenne du récepteur 2 puis amplifiés et convertis en fréquence intermédiaire FI plus basse que leur fréquence initiale.

Ces signaux sont dans l'exemple considéré échantillonnés, puis numérisés avant d'être traités par les canaux de réception du récepteur 2, étant multicanal. Ces canaux de réception peuvent mettre en œuvre des boucles de poursuite. Le récepteur 2 comporte avantageusement une boucle à verrouillage de phase configurée pour mesurer la phase ϕ_k de la porteuse des signaux émis par les générateurs.

Le récepteur 2 est avantageusement configuré pour mesurer, pour chacun des générateurs PL1, PL2, PL3, la différence de phase $\delta\varphi^j$ entre les deux signaux émis par le générateur PLj.

Comme défini précédemment, en fonction de ces mesures de différence de phase $\delta\varphi^j$, le récepteur 2 est avantageusement configuré pour calculer au moins une grandeur géométrique représentative de la position du récepteur par rapport aux générateurs PL1, PL2, PL3, afin d'obtenir sa position (x_r, y_r) au sein du système 1.

Dans l'exemple de la figure 2, et comme défini précédemment, la grandeur géométrique représentative de la position (x_r, y_r) du récepteur 2 par rapport à un générateur PLj est l'angle d'arrivée α_j des signaux émis par le générateur PLj sur le récepteur, fonction de la distance prédéfinie d_{12}^j entre les deux zones d'émission du générateur et des mesures de différence de phase $\delta\varphi^j$: $\alpha_j = Arc\cos\left(\frac{\delta\varphi^j}{d_{12}^{\ j}}\right)$.

Dans une variante, la grandeur géométrique représentative de la position (x_r, y_r) du récepteur 2 par rapport à un générateur PLj est la distance les séparant, fonction des distances (d_1, d_2) entre la position (x_{a1}, y_{a1}, x_{a2}, y_{a2}) de chaque zone d'émission PLj_1, PLj_2 du générateur PLj et la position (x_r, y_r) du récepteur 2 : $d_2 - d_1 = \sqrt{(x_{a2} - x_r)^2 + (y_{a2} - y_r)^2} - \sqrt{(x_{a1} - x_r)^2 + (y_{a1} - y_r)^2} = \delta\varphi$.

Les figures 3 à 5 représentent des résultats obtenus en mettant en œuvre l'invention dans un hall de 20 m par 20 m, dans lequel deux générateurs PL1 et PL2 sont positionnés aux positions (0, 0) et (20, 0), étant ainsi positionnés du même côté du hall.

Le procédé selon l'invention est mis en œuvre, comme défini précédemment, pour trouver un récepteur 2, se trouvant aux coordonnées (5;15) du hall. Environ 660

mesures de différence de phase sont réalisées afin d'évaluer les performances du procédé selon l'invention.

La figure 3 montre la distribution des erreurs de position par mesure, correspondant à la distance entre la position du récepteur 2 calculée et sa position réelle. Selon la figure 3, la précision du positionnement semble être centrée sur une trentaine de centimètres.

La figure 4 représente la distribution des erreurs de position en fonction des erreurs de mesure de la phase des signaux.

La figure 5 montre les positions du récepteur 2 calculées selon l'invention dans le plan Oxy, le point recherché étant représenté par un carré aux coordonnées (5, 15) et les divers points calculés étant représentés par des losanges foncés. Des moyennes glissantes sur 10 points ont été réalisées, représentées par des triangles, permettant de confirmer que la précision du positionnement est de l'ordre d'une trentaine de centimètres. Le losange clair représente la moyenne générale du point obtenu sur les 650 mesures, qui se trouve être à 7,5 cm de la position réelle du récepteur 2.

On a représenté à la figure 8 un exemple de système 1 dans lequel peut être mise en œuvre une variante de procédé selon l'invention, dont des étapes sont illustrées à la figure 7.

Le système 1 comprend un récepteur 2 mobile au sein du système 1 et une pluralité d'émetteurs PL1, PL2, PL3, PL4 formant une constellation locale. Comme représenté sur la figure 6, le système 1 peut être mis en œuvre en intérieur (en *indoor*), par exemple à l'intérieur d'un bâtiment, ou à l'extérieur dans une zone très urbaine, entre des murs très hauts par exemple.

Chaque émetteur PL1, PL2, PL3, PL4 émet de préférence un signal comprenant une porteuse modulée par un code. Les émetteurs peuvent être les générateurs décrits précédemment. Dans ce cas, une seule antenne par générateur est avantageusement considérée.

Comme expliqué précédemment, et comme représenté à la figure 7, lors d'une étape 11, une position initiale estimée prédéfinie $\hat{X}$ est choisie pour le récepteur 2. Durant son déplacement au sein du système de positionnement 1, à partir de cette position initiale estimée, lors d'une étape 12, le récepteur 2 effectue des mesures successives de la phase ϕ_k

de la porteuse du signal émis par chaque émetteur PL1, PL2, PL3, PL4, pour différentes positions ultérieures du récepteur (x_j, y_j, z_j).

Lors d'une étape 13, on calcule les variations $\Delta\phi$ de la phase de la porteuse des signaux entre chaque position ultérieure du récepteur 2 pour laquelle la phase ϕ_k a été mesurée et la position initiale estimée du récepteur, pour chaque émetteur PL1, PL2, PL3, PL4. La matrice $d\Delta\phi$ définie précédemment est créée lors d'une étape 13bis.

Afin de calculer la variation de distance ΔX entre le récepteur 2 et les émetteurs et de déterminer la position initiale réelle du récepteur 2 au sein du système de positionnement 1, la matrice H définie précédemment est créée lors d'une étape 14 et est inversée lors d'une étape 15. La variation de distance ΔX est calculée lors d'une étape 16.

La variation de distance ΔX ainsi calculée et la position initiale estimée prédéfinie $\hat{X}$ du récepteur 2 sont additionnées lors d'une étape 17 afin de former une nouvelle position initiale $\hat{X}$.

Lors d'une étape 18, la variation de distance ΔX est comparée à un deuxième seuil prédéfini ε_2. Si ΔX est supérieure à ce deuxième seuil prédéfini, on modifie la position initiale estimée prédéfinie $\hat{X}$ du récepteur 2, les mesures de phase et de variations $\Delta\phi$ de phase étant réitérées à partir de cette nouvelle position initiale estimée.

Si ΔX est inférieure à ce deuxième seuil prédéfini ε_2, on la compare à un premier seuil prédéfini ε_1, le procédé selon l'invention étant avantageusement réitéré, à partir de l'étape 14, tant que la variation de distance ΔX entre le récepteur et les émetteurs est supérieure à ce premier seuil prédéfini.

Lorsque la variation de distance ΔX entre le récepteur 2 et les émetteurs est inférieure au premier seuil prédéfini ε_1, on vérifie, lors d'une étape 19, si la position initiale du récepteur ainsi déterminée appartient à la région couverte par le système de positionnement 1, délimitée par les positions des émetteurs.

Si la position initiale du récepteur déterminée appartient à la région couverte par le système de positionnement 1, la position initiale estimée $\hat{X}$ du récepteur 2 est retenue comme position réelle lors d'une étape 20, sinon, on réitère le procédé.

Le premier seuil prédéfini est compris entre 10^{-5} m et 10^{-1} m, étant par exemple égal à 10^{-2} m. Le deuxième seuil prédéfini est compris entre 10^2 m et 10^5 m, étant par exemple égal à 10^3 m.

La figure 9 représente des résultats obtenus en mettant en œuvre l'invention dans un canyon urbain en forme de U de 20 m par 30 m, formés par des immeubles hauts. Dans cet exemple, quatre émetteurs sont déployés au dernier étage des immeubles, à une altitude de 18 m environ.

Un récepteur 2 est en mouvement dans cet environnement. Le récepteur 2 a comme position initiale estimée P0, puis effectue un aller-retour entre les positions P0 et P3 en passant par les positions ultérieures P1 et P2, puis va de la position P0 à la position P4. Le procédé de localisation du récepteur 2 selon l'invention est mis en œuvre et les positions obtenues sont comparées avec la trajectoire réelle, comme visible à la figure 9. La trajectoire reconstituée obtenue est très proche de la trajectoire réelle, connue au préalable pour les besoins de l'expérience, l'écart restant en dessous de 50 cm, comme représenté dans le tableau ci-dessous montrant l'erreur et l'erreur moyenne pour chaque position.

Position	X(m)	Y(m)	Erreur(m)	PR(m) Erreur moyenne	EHDOP
P0	4.04	14.82	0.44	0.05	26.7
P1	4.39	17.56	0.43	0.05	
P2	5.61	20.78	0.40	0.06	
P3	8.8	24.15	0.13	0.28	
P4	4.09	3.37	1.08	0.23	
P4c	3.72	4.00	0.73	0.23	4.2

Les positions P3 et P4 donnent les erreurs les plus grandes, car elles sont plus difficiles à estimer de par la configuration de la trajectoire, correspondant à un chemin multiple et des glissements de cycle cumulant des sources d'erreur. Le procédé selon l'invention a ainsi été utilisé pour corriger la position P4, en utilisant une mesure supplémentaire à une position intermédiaire entre P3 et P4, conduisant au résultat P4c dans le tableau ci-dessus, donnant une erreur plus faible.

La dernière colonne du tableau montre les résultats obtenus pour la dilution horizontale étendue de la précision, ou « *extended horizontal dilution of precision* » en

anglais, valeur spécifiant l'influence de la géométrie de l'environnement sur la précision du système de positionnement, et adaptée au procédé selon l'invention, représentant ainsi l'influence de l'erreur de mesures sur la position initiale du récepteur. En considérant que les erreurs sur chaque mesure de phase sont des gaussiennes centrées en zéro, et que ces erreurs sont distribuées de manière identique pour chaque émetteur et indépendantes les unes des autres, la dilution horizontale étendue de la précision peut être calculée à partir de la formule : $\mathrm{cov}(\varepsilon_X) = (H^tH)^{-1}\sigma^2_{UERE}$, avec $\mathrm{cov}(\varepsilon_X)$ la matrice de covariance de l'erreur sur la position estimée du récepteur, et σ^2_{UERE} la variance de l'erreur sur la mesure, ou « *User Equivalent Range Error* » en anglais. En notant σ_{ij} les éléments de $\mathrm{cov}(\varepsilon_X)$ et Dij les éléments de $(H^tH)^{-1}$, on obtient : $EHDOP = \sqrt{D_{11} + D_{22}} = \frac{\sqrt{\sigma_{11}+\sigma_{22}}}{\sigma_{UERE}}$.

Une valeur de dilution horizontale étendue de la précision comprise entre 10 et 40 est considérée comme acceptable, les résultats obtenus pour les positions P0 à P4 sont donc corrects. Néanmoins, la valeur de dilution horizontale étendue de la précision obtenue pour la position P4c définie ci-dessus est excellente. Cela montre qu'il est intéressant et nécessaire d'utiliser le procédé selon l'invention au cours de l'évolution du récepteur au sein du système pour diminuer les erreurs s'accumulant le long de la trajectoire.

Comme expliqué précédemment, le nombre d'émetteurs n_{pl} du système 1 est fonction de la dimension m du positionnement et du nombre de mesures k_{pt} réalisées pour des positions différentes du récepteur 2 : $m.(1+\frac{1}{k_{pt}}) \leq n_{pl}$. Par exemple, pour m = 3 correspondant à un positionnement en 3D, le nombre minimum d'émetteurs n_{pl} est égal à 5 si trois positions différentes sont utilisées pour faire trois mesures k_{pt} : 3(1+1/3) = 4. Si seulement une mesure k_{pt} est utilisée, pour avoir la position du récepteur rapidement, il faut : 3(1+1) = 6 émetteurs.

L'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits.

D'autres signaux que les signaux GPS et GNSS peuvent être utilisés, par exemple des signaux Wifi, 4G, GSM ou radio.

Les procédés selon l'invention peuvent être couplés à d'autres procédés de géolocalisation, tels que des procédés utilisant un lecteur mobile, des balises et une application de géolocalisation et de guidage exécutable sur ledit lecteur.

L'invention peut être mise en œuvre dans des lieux où sont pratiqués des sports collectifs, notamment en intérieur, par exemple en fixant ou en incorporant un système dans des cages de football ou handball afin de calculer en temps réel la position des joueurs, ou sur des chantiers de construction, par exemple pour la pose de faux plafonds, en utilisant une ou plusieurs réglettes constituées d'un réseau d'une dizaine d'antennes, ou dans des grands centres commerciaux.

L'invention peut être utilisée en extérieur, permettant de s'affranchir de station de base.

L'expression « *comportant un* » doit être comprise comme synonyme de l'expression « *comprenant au moins un* », sauf lorsque le contraire est précisé.

REVENDICATIONS

1. Procédé de localisation d'au moins un récepteur (2) au sein d'un système de positionnement (1), le système comprenant :

- au moins deux générateurs (PL1, PL2), chaque générateur émettant sur une même porteuse au moins deux signaux ayant chacun un code différent, et
- un récepteur (2) configuré pour détecter les signaux émis par les générateurs (PL1, PL2),

procédé dans lequel :

- le récepteur (2) mesure, pour chacun des générateurs (PL1, PL2), la différence de phase ($\delta\varphi^j$) entre les deux signaux émis par le générateur (PLj), et
- en fonction de ces mesures de différence de phase ($\delta\varphi^j$), on calcule au moins une grandeur géométrique représentative de la position (x_r, y_r) du récepteur (2) par rapport aux générateurs (PL1, PL2), afin de localiser le récepteur (2) au sein du système de positionnement (1).

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les deux signaux émis par chaque générateur (PLj) sont émis à partir de deux zones d'émission (PLj_1, PLj_2) du générateur distantes l'une de l'autre d'une distance prédéfinie (d_{12}).

3. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la grandeur géométrique représentative de la position (x_r, y_r) du récepteur (2) par rapport à un générateur (PLj) est l'angle d'arrivée (α_j) des signaux émis par le générateur (PLj) sur le récepteur (2), fonction de la distance prédéfinie (d_{12}^j) entre les deux zones d'émission (PLj_1, PLj_2) du générateur (PLj) et des mesures de différence de phase ($\delta\varphi^j$), et défini par :

$$\alpha_j = Arc\cos\left(\frac{\delta\varphi^j}{d_{12}^j}\right).$$

4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la grandeur géométrique représentative de la position (x_r, y_r) du récepteur (2) par rapport à un générateur (PLj) est la distance les séparant, fonction des distances (d_1, d_2) entre la position (x_{a1}, y_{a1}, x_{a2}, y_{a2}) de chaque zone d'émission (PLj_1, PLj_2) du générateur (PLj) et la position (x_r, y_r) du récepteur (2), définies par : $d_2 - d_1 = \sqrt{(x_{a2} - x_r)^2 + (y_{a2} - y_r)^2} - \sqrt{(x_{a1} - x_r)^2 + (y_{a1} - y_r)^2} = \delta\varphi$.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les deux signaux émis par chaque générateur (PLj) sont issus d'au moins deux antennes (PLj_1, PLj_2) appartenant au générateur et distantes l'une de l'autre d'une distance prédéfinie (d_{12}).

6. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la distance prédéfinie (d_{12}) selon laquelle les deux antennes (PLj_1, PLj_2) d'un même générateur (PLj) sont distantes l'une de l'autre est égale à la longueur d'onde (λ) de la porteuse des signaux émis par les antennes (PLj_1, PLj_2).

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les signaux émis par un même générateur (PLj) sont synchronisés entre eux.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque générateur (PLj) émet sur une fréquence différente.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fréquence des signaux émis par les générateurs (PL1, PL2) est égale à 1,575 GHz, les signaux étant notamment de type GNSS Galileo.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, étant mis en œuvre en intérieur (*indoor*).

11. Système de positionnement (1), comportant :

- au moins deux générateurs (PL1, PL2), chaque générateur émettant sur une même porteuse au moins deux signaux ayant chacun un code différent, et
- un récepteur (2) détectant les signaux émis par les générateurs (PL1, PL2),

le système (1) étant configuré pour que :

- le récepteur (2) mesure, pour chacun des générateurs (PL1, PL2), la différence de phase ($\delta\varphi^j$) entre les deux signaux émis par le générateur (PLj), et
- en fonction de ces mesures de différence de phase ($\delta\varphi^j$), soit calculée au moins une grandeur géométrique représentative de la position (x_r, y_r) du récepteur (2) par rapport aux générateurs (PL1, PL2), afin de localiser le récepteur (2) au sein du système de positionnement (1).

12. Récepteur (2) destiné à être utilisé au sein d'un système de positionnement (1) comprenant au moins deux générateurs (PL1, PL2), chaque générateur émettant sur une même porteuse au moins deux signaux ayant chacun un code différent, le récepteur (2) détectant les signaux émis par les générateurs (PL1, PL2),

le récepteur (2) étant configuré pour :

- mesurer, pour chacun des générateurs (PL1, PL2), la différence de phase ($\delta\varphi^j$) entre les deux signaux émis par le générateur (PLj), et
- en fonction de ces mesures de différence de phase ($\delta\varphi^j$), que soit calculée au moins une grandeur géométrique représentative de la position (x_r, y_r) du récepteur (2) par rapport aux générateurs (PL1, PL2), afin de localiser le récepteur (2) au sein du système de positionnement (1).

13. Récepteur selon la revendication précédente, comportant une boucle à verrouillage de phase configurée pour mesurer la phase (ϕ) des signaux émis par les générateurs (PL1, PL2).

14. Générateur (PL1) destiné à être utilisé au sein d'un système de positionnement (1), ledit système comprenant au moins un autre générateur (PL2) et un récepteur (2) configuré pour détecter les signaux émis par ledit générateur et l'autre générateur (PL1, PL2), ledit générateur (PL1) étant configuré pour émettre sur une même porteuse au moins deux signaux ayant chacun un code différent, le récepteur (2) étant configuré pour mesurer la différence de phase ($\delta\varphi$) entre lesdits deux signaux émis par le générateur (PL1).

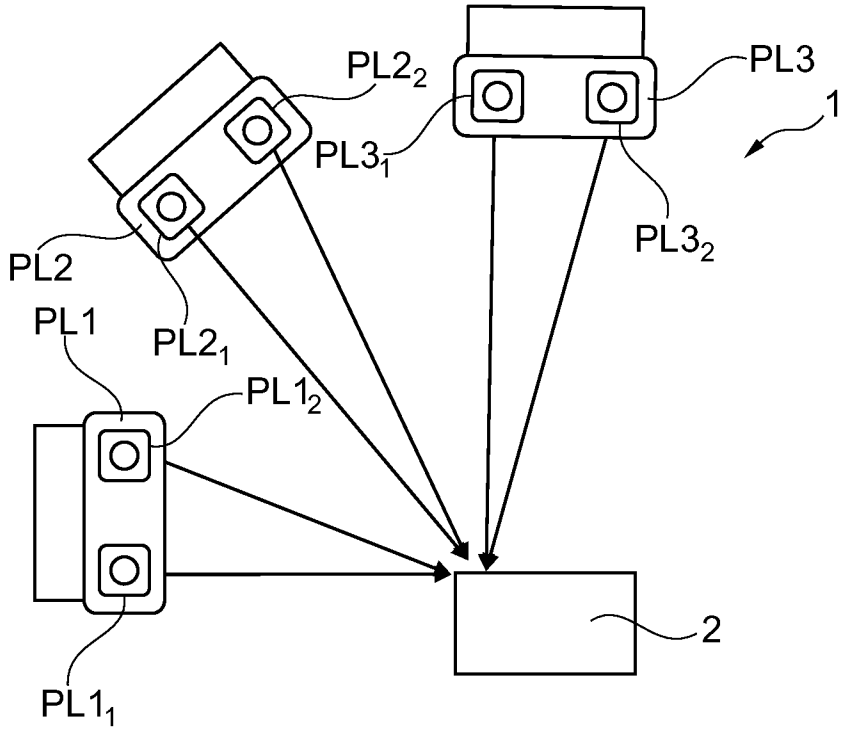
PL2$_2$
PL3
1
PL3$_1$
PL3$_2$
PL2
PL1
PL2$_1$
PL1$_2$
2
PL1$_1$

Fig. 1

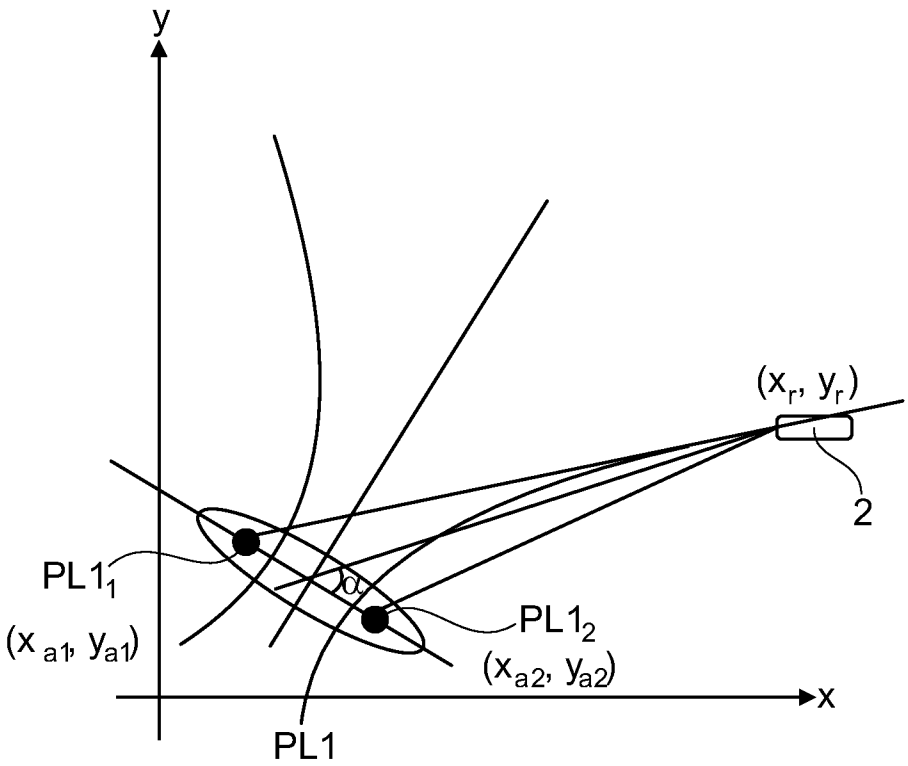
y
(x_r, y_r)
2
PL1$_1$
(x_{a1}, y_{a1})
α
PL1$_2$
(x_{a2}, y_{a2})
x
PL1

Fig. 2

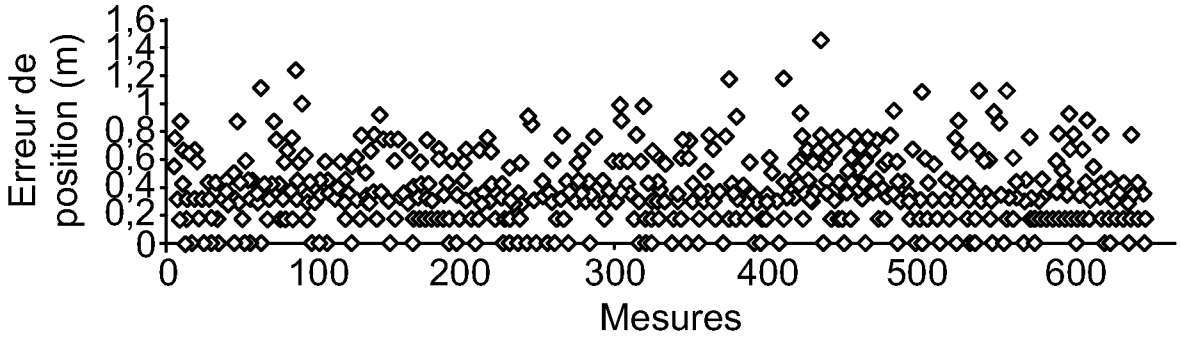

Fig. 3

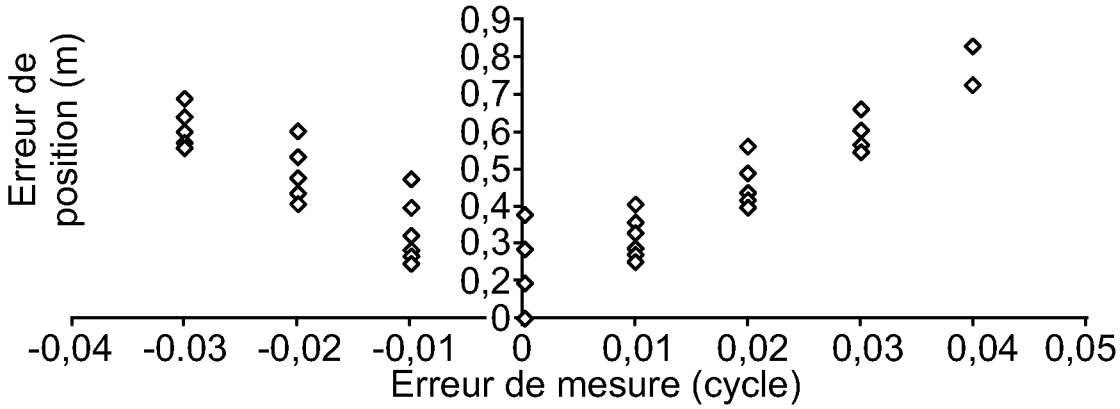

Fig. 4

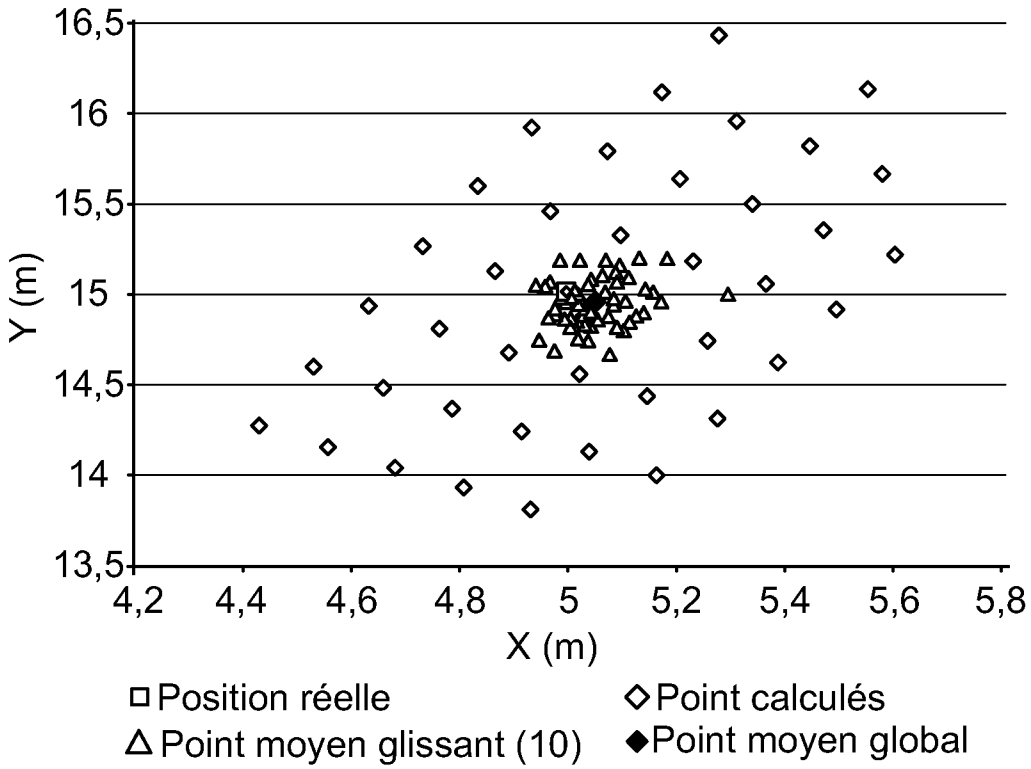

Fig. 5

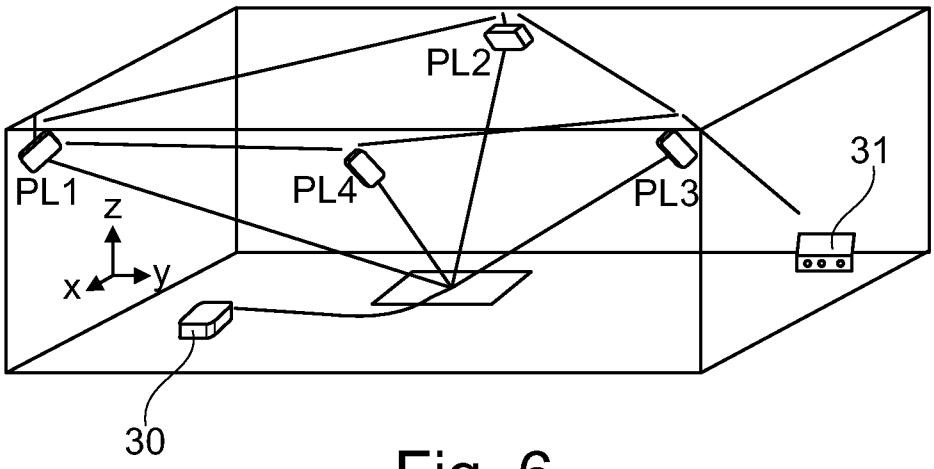
PL2
PL1
PL4
PL3
31
z
x
y
30

Fig. 6

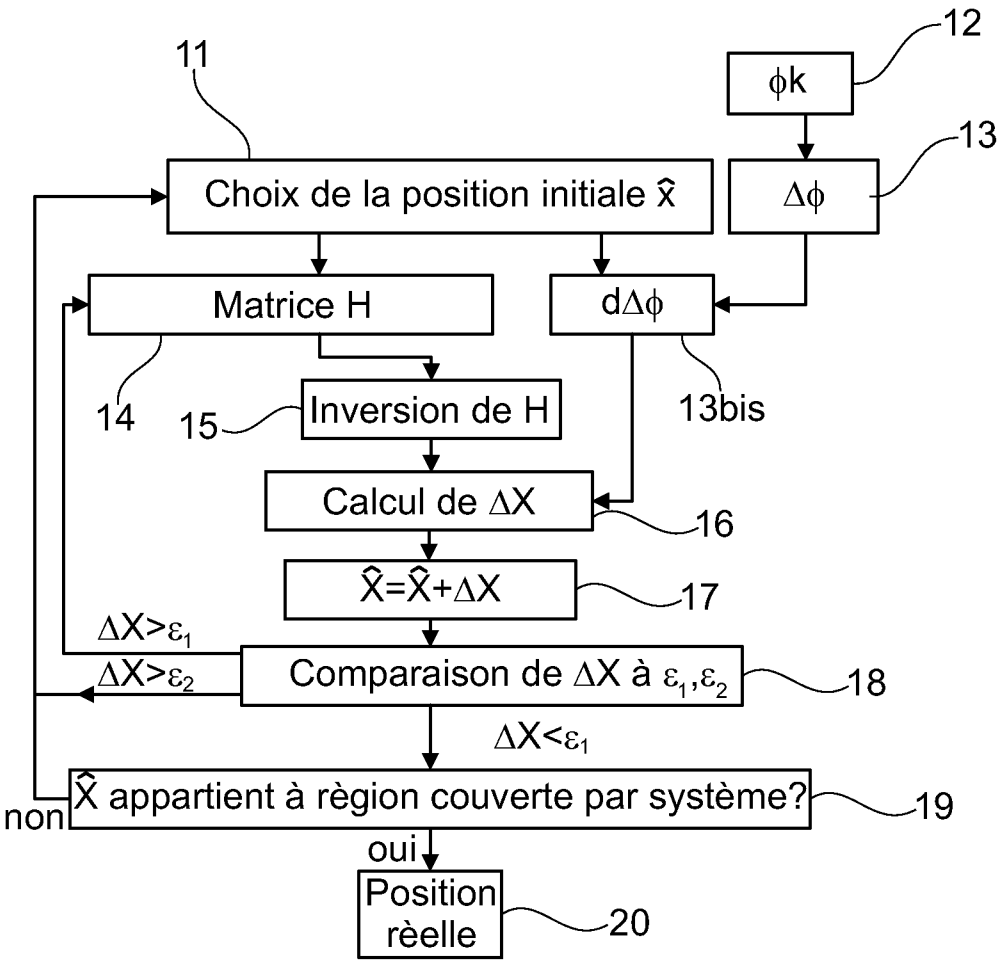
12
11
ϕk
13
Choix de la position initiale x̂
Δϕ
Matrice H
dΔϕ
14
15
Inversion de H
13bis
Calcul de ΔX
16
X̂=X̂+ΔX
17
ΔX>ε1
ΔX>ε2
Comparaison de ΔX à ε1,ε2
18
ΔX<ε1
X̂ appartient à règion couverte par système?
19
non
oui
Position rèelle
20

Fig. 7

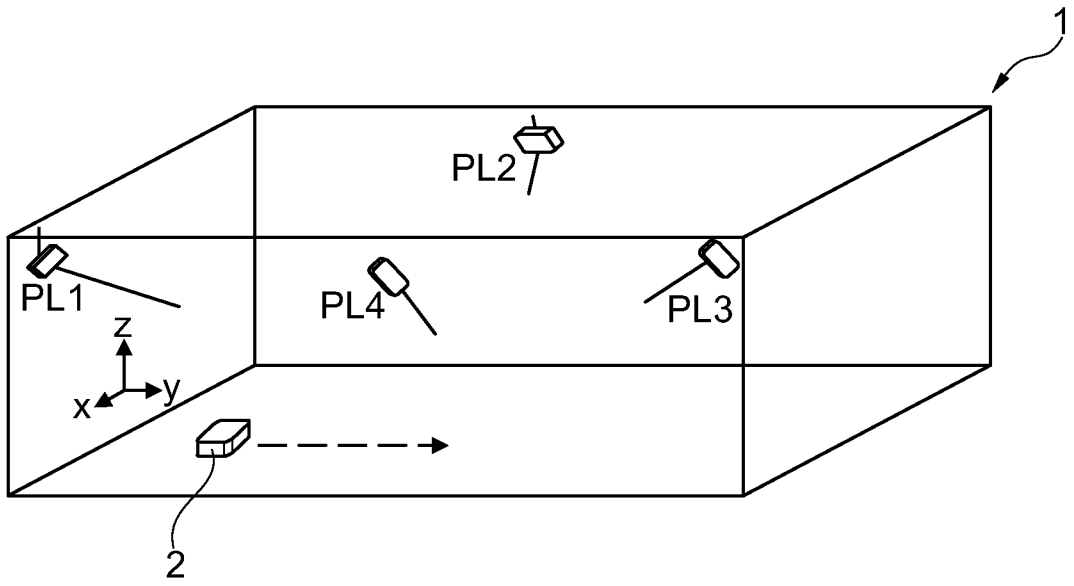
1
PL2
PL1
PL4
PL3
z
x
y
2

Fig. 8

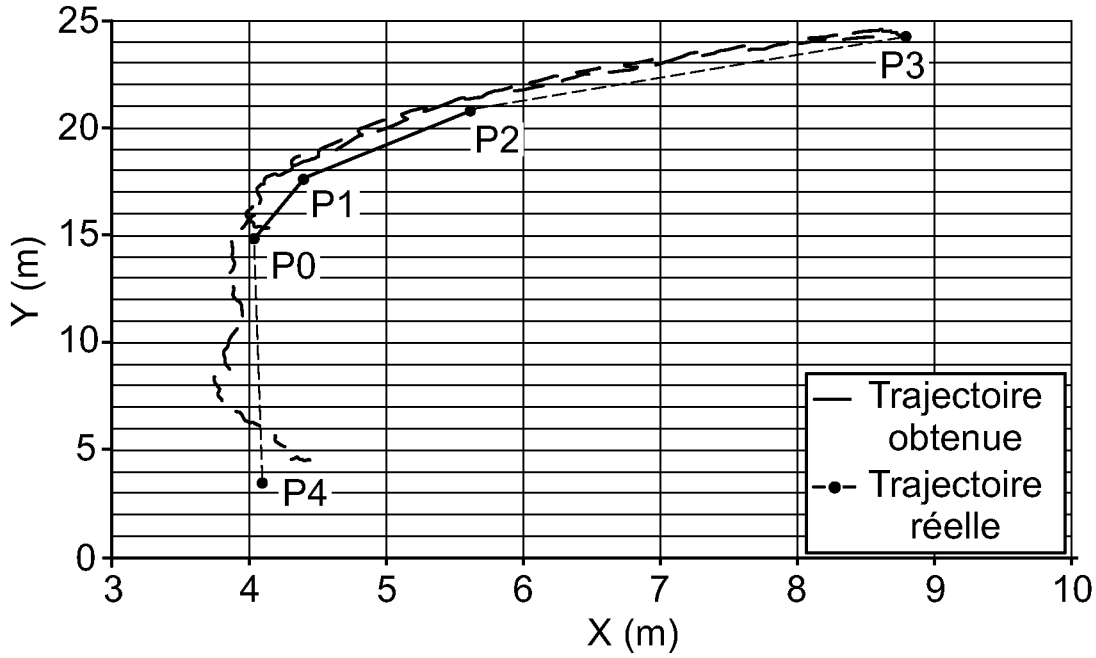
25
20
15
10
5
0
Y (m)
3
4
5
6
7
8
9
10
X (m)
P0
P1
P2
P3
P4
Trajectoire obtenue
Trajectoire réelle

Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/064323

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01S5/10 G01S1/04 G01S1/20
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01S H04W H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 3 774 209 A (FLEMING J ET AL) 20 November 1973 (1973-11-20) column 1, lines 11-50 column 13, lines 19-37 column 4, line 28 - column 5, line 7 column 7, line 17 - column 8, line 4 -----	1-14
X	US 2002/145563 A1 (KANE RONALD J [US] ET AL) 10 October 2002 (2002-10-10) paragraphs [0009], [0010] paragraphs [0017] - [0023] paragraphs [0048] - [0068] paragraph [0075] ----- -/--	1-14

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
26 August 2016	05/09/2016

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Naddeo, Giovanni

2

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2010/137790 A1 (SNU R&DB FOUNDATION [KR]; KEE CHANGDON [KR]; LEE TAIKJIN [KR]) 2 December 2010 (2010-12-02) paragraphs [0013] - [0018] paragraphs [0071] - [0108]	1,11,12, 14
Y	EP 1 724 602 A1 (ST MICROELECTRONICS RES & DEV [GB]) 22 November 2006 (2006-11-22) paragraphs [0020] - [0032], [0046], [0047], [0066] - [0069]	1,11,12, 14
Y	US 6 266 014 B1 (FATTOUCHE MICHEL [CA] ET AL) 24 July 2001 (2001-07-24) column 8, lines 13-24 column 9 - column 41	1,11,12, 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2016/064323

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3774209 A	20-11-1973	CA 960756 A	07-01-1975
		US 3665468 A	23-05-1972
		US 3774209 A	20-11-1973
US 2002145563 A1	10-10-2002	NONE	
WO 2010137790 A1	02-12-2010	CN 102460202 A	16-05-2012
		EP 2438456 A1	11-04-2012
		KR 100979623 B1	01-09-2010
		US 2012075145 A1	29-03-2012
		WO 2010137790 A1	02-12-2010
EP 1724602 A1	22-11-2006	EP 1724602 A1	22-11-2006
		US 2006285581 A1	21-12-2006
		US 2012087448 A1	12-04-2012
US 6266014 B1	24-07-2001	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2016/064323

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G01S5/10 G01S1/04 G01S1/20
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
G01S H04W H04L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 3 774 209 A (FLEMING J ET AL) 20 novembre 1973 (1973-11-20) colonne 1, lignes 11-50 colonne 13, lignes 19-37 colonne 4, ligne 28 - colonne 5, ligne 7 colonne 7, ligne 17 - colonne 8, ligne 4 -----	1-14
X	US 2002/145563 A1 (KANE RONALD J [US] ET AL) 10 octobre 2002 (2002-10-10) alinéas [0009], [0010] alinéas [0017] - [0023] alinéas [0048] - [0068] alinéa [0075] ----- -/--	1-14

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
26 août 2016	05/09/2016

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Naddeo, Giovanni

2

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	WO 2010/137790 A1 (SNU R&DB FOUNDATION [KR]; KEE CHANGDON [KR]; LEE TAIKJIN [KR]) 2 décembre 2010 (2010-12-02) alinéas [0013] - [0018] alinéas [0071] - [0108]	1,11,12, 14
Y	EP 1 724 602 A1 (ST MICROELECTRONICS RES & DEV [GB]) 22 novembre 2006 (2006-11-22) alinéas [0020] - [0032], [0046], [0047], [0066] - [0069]	1,11,12, 14
Y	US 6 266 014 B1 (FATTOUCHE MICHEL [CA] ET AL) 24 juillet 2001 (2001-07-24) colonne 8, lignes 13-24 colonne 9 - colonne 41	1,11,12, 14

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2016/064323

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 3774209 A	20-11-1973	CA 960756 A	07-01-1975
		US 3665468 A	23-05-1972
		US 3774209 A	20-11-1973
US 2002145563 A1	10-10-2002	AUCUN	
WO 2010137790 A1	02-12-2010	CN 102460202 A	16-05-2012
		EP 2438456 A1	11-04-2012
		KR 100979623 B1	01-09-2010
		US 2012075145 A1	29-03-2012
		WO 2010137790 A1	02-12-2010
EP 1724602 A1	22-11-2006	EP 1724602 A1	22-11-2006
		US 2006285581 A1	21-12-2006
		US 2012087448 A1	12-04-2012
US 6266014 B1	24-07-2001	AUCUN	