

Système de positionnement par pseudolites fonctionnant en mode assisté.

La présente invention concerne un système permettant à un objet équipé d'un récepteur adapté de déterminer sa position dans une zone
5 contrainte.

Plus particulièrement, le système de positionnement selon la présente invention est fondé sur l'utilisation de pseudolites.

Comme cela est connu, les pseudolites, contraction de pseudo-satellites, sont des dispositifs fonctionnant selon les mêmes principes que les
10 satellites appartenant à des constellations de satellites mises en œuvre dans le cadre de systèmes de navigation par satellites, connus sous l'acronyme anglo-saxon de GNSS, pour Global Navigation Satellite System, tels que le système GPS, pour Global Positioning System en anglais, ou le système
15 Galileo. A la différence des satellites, les pseudolites sont déployés au sol. Typiquement ; ils peuvent être répartis dans un bâtiment, et de manière générale, dans des zones dites contraintes.

Le principe général des systèmes de positionnement par pseudolites réside dans le fait que lesdits pseudolites émettent des signaux
20 de positionnement dont le format est identique ou similaire à celui des messages émis par les satellites d'un système de navigation par satellites. Pour une bonne compatibilité avec les systèmes existants, notamment les récepteurs, on attribue généralement à chaque pseudolite un identifiant correspondant à celui d'un satellite. Dans le contexte des constellations de
25 satellites, ces identifiants sont appelés codes d'étalement, comme cela est connu de l'homme du métier. La portée des signaux émis par des pseudolites est variable ; elle dépend de leur puissance, et de leur utilisation. Des objets équipés de récepteurs adaptés peuvent acquérir ces signaux de positionnement. Comme pour un système de navigation par satellites
30 classique, un calcul de pseudo-distances entre ledit objet et les pseudolites dont il a acquis les signaux de positionnement, suivis d'un calcul de triangulation, permettent de déterminer la position de l'objet. Le principe du positionnement par triangulation est connu : il s'agit de déterminer la position d'un récepteur comme état à l'intersection de sphères de centre les

émetteurs et de rayon la distance entre récepteur et émetteurs. Les calculs peuvent être effectués de manière embarquée, par l'objet lui-même, ou de manière délocalisée par un serveur.

Des systèmes de positionnement par pseudolites sont
5 généralement déployés dans des zones dites « contraintes ». Il peut s'agir, typiquement, de bâtiments à l'intérieur desquels les signaux de positionnement émis par des satellites en orbite autour de la Terre ne peuvent pas être acquis, en raison du masquage produit par les murs, les plafonds...etc. Il peut s'agir de zones non couvertes par le système de
10 navigation par satellites considéré. De manière générale, on définira une zone contrainte comme étant une zone dans laquelle des signaux de positionnement émis par des satellites ne peuvent pas être correctement acquis. A contrario, on peut parler de « zone ouverte » dans les zones où des signaux de positionnement émis par des satellites peuvent être acquis
15 par un récepteur adapté. D'autre part, les satellites dont un récepteur peut théoriquement recevoir des signaux de positionnement, du fait de la position relative adéquate entre lesdits satellites et ledit récepteur, sont dits « visibles » du récepteur, tandis que les autres satellites de la constellation sont dits « non visibles ». Ces termes consacrés, « visible » et « non visible »
20 sont utilisables dans le cas de pseudolites.

Les définitions données ci-dessus des termes « zone contrainte », « zone ouverte », « satellite visible » et « satellite non visible » valent pour toute la suite de la description et pour les revendications.

25 Il est également connu que les systèmes de positionnement par satellites sont souvent complétés d'un système d'assistance. Cette technologie est bien connue de l'homme de l'art sous l'appellation d'Assisted-GNSS. Ces systèmes d'assistance s'articulent généralement autour d'un serveur appelé serveur d'assistance dont le rôle est d'envoyer
30 des informations au récepteur concernant la constellation de satellites, telles que la position des satellites visibles, et d'autres aides facilitant le traitement des signaux de positionnement. Un système de positionnement par pseudolites peut également présenter un tel serveur d'assistance. En mode dit « assisté », ce serveur d'assistance calcule généralement la position du
35 récepteur à partir des calculs de pseudo-distances que ce dernier lui fournit.

Ce mode de fonctionnement est également bien connu de l'homme de métier sous le terme mode dit MS-Assisted, ou UE-Assisted pour respectivement Mobile Station-assisted ou User Equipment-Assisted.

5 C'est dans un tel mode de fonctionnement assisté qu'est mise en œuvre l'invention.

L'état de la technique divulgue différentes technologies. D'abord, à titre d'alternatives au positionnement par pseudolites, on connaît des techniques de positionnement par WiFi, mais cette solution n'est acceptable
10 que dans des environnements statiques, et nécessite des déploiements matériels spécifiques pour la localisation en zone contrainte, ainsi que des phases de calibration relativement lourdes. Toujours au rang des alternatives, on utilise également des techniques de positionnement fondées sur les normes GSM ou UMTS par exemple, permettant de localiser un
15 téléphone portable dans les zones couvertes ; cependant, la précision atteinte est de l'ordre de quelques dizaines de mètres, ce qui n'est pas satisfaisant.

Enfin, les systèmes de positionnement par pseudolites connus présentent un certain nombre d'inconvénients. En particulier, ils ne
20 permettent pas de passer d'une zone contrainte à une zone ouverte et vice versa, de façon continue et autonome. D'autre part, ils ne permettent généralement pas de démarrage à froid, sans connaissance de la position initiale du récepteur. En effet, les systèmes connus impliquent généralement l'utilisation de récepteurs conçus spécifiquement pour un fonctionnement en
25 zone contrainte et l'acquisition de signaux de positionnement émis par des pseudolites.

Dans d'autres cas, ils nécessitent une intervention sur le récepteur pour que celui-ci commence à acquérir des signaux émis par des pseudolites, qui sont identifiés par des codes d'étalement spécifiques,
30 potentiellement inconnus des récepteurs voués à une utilisation des satellites et ne connaissant par conséquent que les codes d'étalement desdits satellites. En tout état de cause, les modes de fonctionnement en zone contrainte et en zone ouverte ne sont généralement pas compatibles, en ce sens qu'ils ne peuvent être actifs simultanément.

Par ailleurs, une contrainte importante à prendre en considération réside dans le fait que les codes d'étalement des satellites appartenant à des constellations de satellites sont réservés pour lesdits satellites. Il n'est pas possible d'utiliser d'autres codes sans devoir concevoir des récepteurs
5 spécifiques car les récepteurs du marché sont conçus pour acquérir des signaux de positionnement provenant des satellites.

Un but de l'invention est de résoudre ces inconvénients en proposant un système de positionnement par pseudolites aptes à fonctionner
10 avec des récepteurs standards pouvant acquérir de manière transparente, du point de vue du récepteur, des signaux de positionnement émis par des pseudolites comme s'il s'agissait de signaux de positionnement émis par des satellites appartenant à une constellation de satellites d'un système de navigation par satellites.

Le principe général de l'invention consiste ainsi à leurrer le récepteur de telle manière que lorsqu'il acquiert les signaux de positionnement émis par des pseudolites équipant la zone contrainte dans laquelle il se trouve, ledit récepteur ait l'impression d'acquérir normalement des signaux émis par des satellites visibles. Ceci est rendu possible par le
15 système décrit à la revendication 1.

Ainsi, l'invention a pour objet un système de positionnement d'un objet équipé d'un récepteur, comprenant un ensemble de pseudolites émettant des signaux de positionnement, et répartis dans une zone
25 contrainte, et des moyens d'assistance aptes à communiquer avec ledit récepteur et à calculer la position de l'objet, et un serveur apte à configurer de façon dynamique l'ensemble de pseudolites, lesdits pseudolites présentant par ailleurs chacun un code d'étalement correspondant à celui d'un satellite appartenant à une constellation de satellites d'un système de navigation par satellites, la configuration dynamique des pseudolites par le
30 serveur étant telle que les codes d'étalement desdits pseudolites correspondent à des codes d'étalement de satellites de la constellation de satellites non visibles par le récepteur de l'objet,

dans lequel les moyens d'assistance communiquent audit
35 récepteur une liste de codes d'étalement censés être ceux de satellites

visibles par ledit récepteur mais correspondant en réalité aux codes d'étalement de l'ensemble de pseudolites, de manière à leurrer le récepteur qui peut acquérir les signaux de positionnement émis par des pseudolites et communiquer avec les moyens d'assistance afin que ceux-ci calculent la position de l'objet.

Selon un mode de réalisation de l'invention, la position de chaque pseudolite de l'ensemble de pseudolites dans la zone contrainte étant connue des moyens d'assistance, la position de l'objet est calculée par triangulation, à partir des positions connues des pseudolites et de mesures de pseudo-distances réalisées par le récepteur.

Selon un autre mode de réalisation, le récepteur pouvant avoir accès aux éphémérides de la constellation de satellites, les moyens d'assistance communiquent par ailleurs audit récepteur une heure courante erronée correspondant à l'heure courante décalée d'un offset de sorte que le récepteur consultant les éphémérides détermine que les codes d'étalement des pseudolites correspondent à des codes d'étalement de satellites de la constellation de satellites censés être visibles par ledit récepteur.

Avantageusement, les pseudolites émettent, à l'heure courante, des signaux de positionnement identiques aux signaux de positionnement qu'émettraient les satellites de la constellation de satellites dont ils empruntent le code d'étalement à l'heure courante erronée.

Avantageusement, les moyens d'assistance communiquent en outre audit récepteur un flag de non intégrité pour l'ensemble des codes d'étalement de satellites de la constellation de satellites non attribués à des pseudolites.

Avantageusement, le serveur met en œuvre les moyens d'assistance, par l'intermédiaire d'une programmation adaptée.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit faite en regard des dessins annexés qui représentent :

- la figure 1 : le schéma d'un exemple de disposition autour de la Terre de satellites d'un système de navigation par satellites ;

- la figure 2 : la représentation schématique du principe de fonctionnement d'un système de navigation par satellites en mode assisté.

5 La figure illustre la définition donnée précédemment, et bien connue de l'homme du métier, des termes « satellite visible » et « satellite non visible ». En effet, comme le montre la figure 1 à un instant donné, du point A situé à la surface de la Terre, seuls les satellites SV sont visibles, tandis que les satellites SN sont non visibles. De ce fait, seuls des signaux
10 de positionnement émis par les satellites visibles SV pourront être acquis par un récepteur placé au point A.

D'un autre côté, comme cela a été évoqué précédemment, le système de positionnement par pseudolites selon l'invention met en œuvre un serveur d'assistance contrôlant l'ensemble des pseudolites équipant la
15 zone contrainte considérée, dans laquelle se trouve l'objet à positionner. Ce serveur d'assistance est programmé notamment pour assurer la fonction d'attribution dynamique d'un code d'étalement à chacun des pseudolites de la zone contrainte.

La figure 2 représente le principe général d'un mode de
20 fonctionnement dit « assisté » d'un système de navigation par satellites, ou Assisted-GNSS comme mentionné précédemment. Dans l'exemple de la figure 2, le serveur d'assistance S collecte des informations émises par les satellites de la constellation de satellites SAT appartenant à un système de navigation par satellites et, optionnellement, des informations émises par
25 d'autres satellites, par exemple des satellites géostationnaires G appartenant à un système de collecte de données. Le serveur d'assistance S exploite ces informations afin d'être en mesure de fournir sur demande à un récepteur R des données d'assistance telles que :

- des informations de localisation,
- 30 • des références horaires, comme le « temps GPS »,
- des informations pour la navigation, comme les éphémérides et les corrections applicables aux horloges des satellites SAT,
- des corrections actualisées des modèles relatifs à
35 l'ionosphère,

- des informations correctives pour effectuer de la navigation différentielle,
- des informations sur l'intégrité des signaux de positionnement reçus en fonction du satellite émetteur,
- 5 • les almanachs de la constellation de satellites SAT,
- la liste des identifiants, en général, des codes d'étalement, des satellites visibles de la constellation de satellites SAT en fonction de la zone dans laquelle se trouve le récepteur R,
- 10 • les éphémérides de la constellation de satellites SAT étendues pour plusieurs jours,
- ...etc.

Le principe de l'invention consiste à leurrer le récepteur R de l'objet que l'on cherche à positionner par une programmation adéquate du serveur d'assistance S.

Tout d'abord, le serveur d'assistance S est programmé pour attribuer de façon dynamique aux pseudolites des codes d'étalements qui sont ceux de satellites non visibles depuis la zone contrainte considérée. Cela est possible parce que le serveur d'assistance S a la connaissance de la position de l'ensemble des satellites de la constellation de satellites SAT considérée et des éphémérides correspondants. Ce point est primordial afin d'éviter tout risque d'interférence, d'une part vis-à-vis d'utilisateurs extérieurs à la zone contrainte, et d'autre part vis-à-vis de satellites réels au niveau de zones dans lesquelles des signaux de positionnement émis par des satellites peuvent être reçus bien que l'on se trouve en zone contrainte : par exemple, à l'intérieur d'un bâtiment, il peut s'agir de zones situées près de fenêtres. Il pourrait en effet ne pas être possible de discerner les signaux de positionnement émis par des pseudolites de ceux émis par des satellites.

Selon l'invention, le serveur d'assistance S fournit au récepteur R des données d'assistance modifiées en vue de leurrer ledit récepteur R.

Ces données modifiées fournies par le serveur d'assistance comprennent :

- Une liste des codes d'étalements des pseudolites visibles depuis la zone contrainte où se trouve le récepteur R,

correspondant à des codes d'étalement de satellites non visibles SN.

- De préférence, une référence horaire censée correspondre à l'heure courante, appelée Time Of Week selon le terme anglais consacré, mais égale à l'heure courante décalée d'un offset, de sorte que, dans le cas où le récepteur R aurait stocké dans sa mémoire interne les almanachs de la constellations de satellites dans le but de déterminer de manière autonome la liste des satellites visibles, ledit récepteur ne détecte pas d'incohérence entre la liste de satellites visibles – correspondant en réalité à la liste des pseudolites visibles fournie par le serveur d'assistance S – et la liste de satellites visibles qu'il serait en mesure de déterminer par lui-même. L'offset appliqué doit par conséquent être choisi de manière adéquate, de manière à ce que les codes d'étalement des pseudolites correspondent à des codes d'étalement de satellites censés être visibles à l'heure courante modifiée, égale à l'heure courante décalée dudit offset.
- Optionnellement, un flag de non-intégrité des satellites censés être non visibles à l'heure courante modifiée mais pouvant en pratique être visibles à l'heure courante réelle. Un flag de non-intégrité est interprété par un récepteur R comme signifiant que les signaux émis par les satellites concernés par le flag de non-intégrité sont erronés et ne doivent pas être pris en compte. Un tel flag de non-intégrité concernant l'ensemble des satellites dont le code d'étalement n'a pas été attribué à un pseudolite peut donc être diffusé au récepteur R. De cette façon, le récepteur R ne cherchera pas à acquérir ces satellites et économisera donc de l'énergie ; de plus, il n'y aura pas de risque de conflit en cas de calcul de position à partir de signaux de positionnement provenant à la fois de pseudolites et de satellites SV.

Par ailleurs, dans le mode assisté utilisé dans le cadre de l'invention, le calcul des pseudo-distances et la détermination de la position du récepteur sont de préférence effectués par le serveur d'assistance ou tout calculateur adapté. De ce fait, le récepteur R n'a pas à manipuler les
5 informations de position des pseudolites.

Le serveur d'assistance S, mettant en œuvre la diffusion de données d'assistance modifiées peut être constitué de moyens séparés comprenant des moyens d'assistance calculant les données d'assistance modifiées à diffuser et un serveur pour la diffusion desdites données
10 d'assistance modifiées.

L'invention a pour principal avantage de proposer une solution de positionnement par pseudolites en zone contrainte qui soit transparente pour la plupart des récepteurs standards aptes à acquérir des signaux de positionnement dans le cadre d'un système de navigation global par
15 satellites. Aucune modification matérielle ni aucun logiciel particulier n'est à développer pour mettre en œuvre la solution préconisée, qui repose sur une programmation et une configuration originale d'un serveur d'assistance permettant de leurrer lesdits récepteurs.

REVENDEICATIONS

1. Système de positionnement d'un objet équipé d'un récepteur (R),
comprenant un ensemble de pseudolites émettant des signaux de
positionnement, et répartis dans une zone contrainte, et des moyens
5 d'assistance (S) aptes à communiquer avec ledit récepteur (R) et à
calculer la position de l'objet, et un serveur (S) apte à configurer de
façon dynamique l'ensemble de pseudolites, lesdits pseudolites
présentant par ailleurs chacun un code d'étalement correspondant à
celui d'un satellite appartenant à une constellation de satellites d'un
10 système de navigation par satellites, la configuration dynamique des
pseudolites par le serveur étant telle que les codes d'étalement
desdits pseudolites correspondent à des codes d'étalement de
satellites de la constellation de satellites non visibles (SN) par le
récepteur (R) de l'objet,
15 caractérisé en ce que les moyens d'assistance (S) communiquent
audit récepteur (R) une liste de codes d'étalement censés être ceux
de satellites visibles par ledit récepteur (R) mais correspondant en
réalité aux codes d'étalement de l'ensemble de pseudolites, de
manière à leurrer le récepteur (R) qui peut acquérir les signaux de
20 positionnement émis par des pseudolites et communiquer avec les
moyens d'assistance (S) afin que ceux-ci calculent la position de
l'objet.
2. Système selon la revendication 1, la position de chaque pseudolite de
25 l'ensemble de pseudolites dans la zone contrainte étant connue des
moyens d'assistance (S), caractérisé en ce que la position de l'objet
est calculée par triangulation, à partir des positions connues des
pseudolites et de mesures de pseudo-distances réalisées par le
récepteur (R).
3. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, le
30 récepteur (R) pouvant avoir accès aux éphémérides de la
constellation de satellites, caractérisé en ce que les moyens
d'assistance (S) communiquent par ailleurs audit récepteur (R) une

5 heure courante erronée correspondant à l'heure courante décalée
d'un offset de sorte que le récepteur (R) consultant les éphémérides
détermine que les codes d'étalement des pseudolites correspondent
à des codes d'étalement de satellites de la constellation de satellites
censés être visibles par ledit récepteur (R).

10 4. Système selon la revendication 3, caractérisé en ce que les
pseudolites émettent, à l'heure courante, des signaux de
positionnement identiques aux signaux de positionnement
qu'émettraient les satellites de la constellation de satellites dont ils
empruntent le code d'étalement à l'heure courante erronée.

15 5. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes,
caractérisé en ce que les moyens d'assistance (S) communiquent en
outre audit récepteur (R) un flag de non intégrité pour l'ensemble des
codes d'étalement de satellites de la constellation de satellites non
attribués à des pseudolites.

20 6. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes,
caractérisé en ce que le serveur (S) met en œuvre les moyens
d'assistance (S), par l'intermédiaire d'une programmation adaptée.

25