

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 09.06.14.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 11.12.15 Bulletin 15/50.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : CROHAS HENRI — BE.

72 Inventeur(s) : CROHAS HENRI.

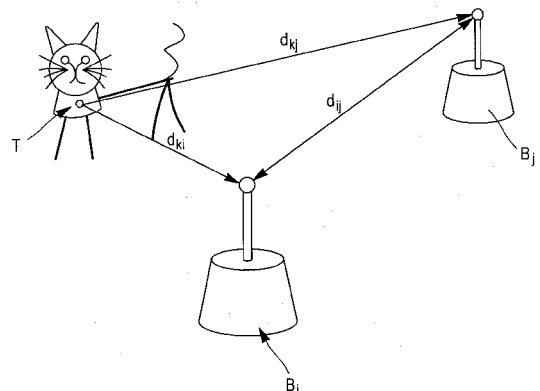
73 Titulaire(s) : CROHAS HENRI.

74 Mandataire(s) : CABINET PONTET ALLANO & ASSOCIES SELARL.

54 PROCÉDE DE DETERMINATION DE DISTANCE BASE SUR DES CHIRPS ET PISTAGES DE BIEN A L'ESTIME ET CLASSIQUE.

57 Il est proposé un procédé de détermination d'une distance entre un premier et un second dispositifs, comprenant une émission par des moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif d'un premier chirp linéaire de période T_1 et de largeur de bande B_1 , une première étape d'estimation d'un décalage temporel τ_1 de la réception dudit premier chirp par des moyens de transmission radiofréquence du second dispositif, une émission, après une durée déterminée t_p après la réception dudit premier chirp, d'un second chirp linéaire de période T_2 et de largeur de bande B_2 par le second dispositif, une seconde étape d'estimation d'un décalage temporel τ_2 de la réception du second chirp par les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif, une étape de détermination de la distance d entre le premier et le second dispositif à partir de la formule :

$$d = c \left(\frac{\tau_2 - t_p}{2} \right).$$



**« Procédé de détermination de distance basé sur des chirps et
pistages de bien à l'estime et classique »**

Domaine de l'invention

5 L'invention a pour domaine la détermination de la mesure de distance entre un émetteur et un récepteur radiofréquence. L'invention a également pour domaine celui de la localisation des biens et des personnes à l'intérieur des bâtiments.

10 **Etat de l'art antérieur**

La présente invention a pour objet de proposer une solution au problème du pistage de biens (asset tracking) dans une zone de surveillance de quelques kilomètres autour du point de surveillance en campagne, de l'ordre du kilomètre en zone urbaine et de quelques centaines de mètres à l'intérieur des bâtiments. Sous le vocable générique de « pistage de
15 biens », on entend aussi bien la localisation d'un bien matériel que d'un animal ou d'un humain, d'un piéton ou d'un passager d'un véhicule, termes qui seront employés indifféremment suivant le contexte dans ce qui suit. Une application importante protégée à travers ce brevet est celle permettant de connecter des montres connectées (« smartwatches ») qui
20 communiquent chacune avec leur téléphone connecté (« smartphone ») associé par Bluetooth Low Energy.

Une première catégorie d'appareillages de pistage de biens consiste à attacher un appareil portatif (tracking device) au bien à pister, comprenant
25 un module de géolocalisation par satellites de type GNSS (GNSS, pour l'anglais « Global Navigation Satellite System ») ainsi qu'un modem radiofréquence pour communiquer avec un serveur ou un terminal distant par le biais d'un réseau radiofréquence étendu sans fil (WWAN, pour l'anglais « Wireless Wide Area Network »), tel qu'un réseau cellulaire. Cette
30 première catégorie couvre la grande majorité des appareillages commercialisés aujourd'hui pour les animaux. Dans ces systèmes, le module de géolocalisation et le modem WWAN mettent en jeu des interfaces à relativement haute consommation d'énergie. Or, pour ce qui concerne le pistage des personnes et des animaux, la taille et le poids de
35 l'appareil doivent être réduits, ce qui fait que la capacité de la batterie qui

l'alimente doit être réduite. En conséquence, l'autonomie de fonctionnement se trouve en pratique limitée à quelques heures. Un autre inconvénient non moindre de ces appareils réside dans leur coût, à la fois de fabrication liée au coût relativement élevé de l'électronique WWAN et GNSS mais également de fonctionnement lié au coût de l'abonnement au WWAN. Un exemple parmi tant d'autres de cette catégorie d'appareillages est donné dans le lien suivant : <http://www.tractive.com/>.

Dans une seconde catégorie d'appareillages dédiés au pistage d'animaux domestiques, la liaison au terminal distant par le WWAN est remplacée par une liaison radiofréquence propriétaire avec un terminal dédié. L'autonomie de ces appareils est en pratique également limitée à quelques heures. Leur portée est limitée à quelques centaines de mètres et leur prix demeure relativement élevé du fait du coût de fabrication du terminal dédié. Un exemple représentatif de cette catégorie est l'Astro Dog Tracking System commercialisé par Garmin : <http://sites.garmin.com/astro/>.

Dans une troisième catégorie d'appareillages de pistage d'animaux, l'appareil de pistage attaché à l'animal communique avec une balise installée dans une maison. L'appareil communique avec la balise par le biais d'une liaison radiofréquence dédiée à courte portée utilisant une modulation classique, ou encore une liaison standard ou un réseau local (WLAN, pour l'anglais « Wireless Local Area Network ») telle que WiFi, Bluetooth, Bluetooth Low Energy, Zigbee, etc. Quand l'animal quitte la zone de portée autour de la balise, la liaison locale est perdue et la liaison au réseau WWAN est mise en route. La portée de la liaison locale ne dépasse pas en pratique le périmètre de la maison ou une dizaine de mètres à l'intérieur de bâtiments. La perte de la liaison locale peut se produire quand l'animal quitte les locaux d'habitation ou encore lorsqu'il entre intempestivement dans une zone d'ombre de réception.

L'autonomie de cette troisième catégorie d'appareillages est meilleure que celle des deux premières catégories lorsque l'animal reste confiné à l'intérieur de l'habitation. Cependant, dès que l'animal s'en éloigne, la consommation relativement élevée des interfaces GNSS et WWAN réduit là encore l'autonomie à quelques heures. L'autre inconvénient majeur de cette catégorie d'appareillages réside à la fois dans le coût relativement élevé des modems GNSS/WWAN/WLAN et dans le coût d'abonnement au WWAN. Un

exemple de cette catégorie d'appareillages est le tag Pet Tracker :
<http://www.pettracker.com/>.

Enfin, une autre catégorie d'appareillages vise à résoudre l'épineux
problème de la localisation des personnes à l'intérieur des bâtiments ou
5 d'une manière générale dans les zones d'ombre des systèmes de
géolocalisation GNSS. Parmi les nombreuses techniques en concurrence, on
peut citer celles reposant sur la mesure du temps de vol d'une onde
hertzienne. On peut également mentionner les techniques recourant à
l'émission/réception d'un même signal sur plusieurs antennes, dites
10 d'émission/réception en « diversité » où l'on s'intéresse davantage au
décalage temporel d'arrivée du signal entre au moins deux antennes, ce qui
se traduit par l'estimation d'un angle d'arrivée (AOA, pour l'anglais « Angle
of Arrival ») de l'onde reçue. D'autres techniques basées sur l'utilisation
d'ultrasons utilisent des principes de mesure similaires sur des ondes
15 acoustiques.

En matière de télécommunications mobiles sans fil par voie hertzienne, la
mesure de distance entre émetteur et récepteur radiofréquence est un sujet
à la pointe de la recherche, pour résoudre le problème de la localisation des
biens et des personnes à l'intérieur des bâtiments ou plus généralement
20 dans les zones d'ombre des systèmes de géolocalisation par satellites GNSS
ou lorsque leur précision est insuffisante ; la localisation d'un nœud dans un
réseau s'effectuant par la mesure de distances avec d'autres nœuds et des
techniques de triangulation ou trilatération bien connues.

Beaucoup de technologies existent pour déterminer dans un réseau la
25 distance entre un nœud aveugle que l'on cherche à localiser et des nœuds
de référence de positions connues. Par exemple, on peut utiliser la
puissance du signal reçu (RSS, pour l'anglais « Received Signal Strength »)
ou, grâce à plusieurs antennes arrangées en diversité, l'angle d'arrivée du
signal reçu (AOA) ou le temps d'arrivée du signal (TOA, pour l'anglais
30 « Time of Arrival ») ou encore le temps de vol aller-retour (RTT, pour
l'anglais « Round Trip Time ») d'un signal radiofréquence émis par un nœud
et réémis en réponse par un autre nœud.

La mesure du temps de vol (TOF, pour l'anglais « Time of Flight ») d'un
signal radiofréquence est une technique largement utilisée pour la
35 localisation d'objets. Elle est en particulier à la base de la plupart des

systèmes de radar. Le principe de la localisation de nœuds dans un réseau repose sur des nœuds de référence et un ou plusieurs nœuds aveugles à localiser échangeant leurs mesures des temps de vol d'un signal radiofréquence afin de déterminer les distances inter-nœuds. C'est en général le nœud aveugle qui initie la mesure de distance en envoyant un message vers chacun des nœuds de référence mais l'inverse est également possible. Dans la mesure directe du temps d'arrivée (TOA), le nœud émetteur attache au message une empreinte (time stamp) du relevé de son horloge interne, t_1 , à l'instant précis de l'envoi et, à l'arrivée, le nœud récepteur enregistre le relevé de son horloge interne, t_2 , à l'instant précis de la réception du message. La différence entre les deux relevés d'horloge, $t_2 - t_1$, est indicative du temps de vol du signal et la distance entre émetteur et récepteur est obtenue en multipliant le temps de vol par la vitesse de la lumière, c : $d = c.(t_2 - t_1)$.

Un objet de l'invention est de proposer une solution au problème du pistage de biens et/ou une nouvelle méthode de détermination de la distance fondée sur la mesure du temps de vol (TOF) entre émetteur et récepteur résolvant les problèmes précédemment mentionnés ainsi qu'une nouvelle technique de traitement du signal qui présente entre autres les avantages d'une plus grande précision, d'une portée améliorée et d'une moindre sensibilité aux réflexions multiples du signal radiofréquence sur son parcours.

Exposé de l'invention

On atteint un tel objectif avec un procédé de détermination d'une distance entre un premier et un second dispositifs, chaque dispositif étant muni de moyens de transmission radiofréquence, caractérisé en ce que les moyens de transmission radiofréquence sont configurés pour émettre un chirp linéaire, un chirp linéaire étant un signal périodique de période T modulé linéairement entre une fréquence de début et une fréquence de fin définissant une largeur de bande B autour d'une fréquence porteuse et modulé en amplitude par une enveloppe dont les variations sont lentes par rapport aux oscillations de la phase, le procédé comprenant :

– une émission par les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif d'un premier chirp linéaire de période T_1 et de largeur de bande B_1 ,

5 – une réception par les moyens de transmission radiofréquence du second dispositif du premier chirp linéaire,

– une première étape d'estimation d'un décalage temporel τ_1 de la réception du premier chirp par les moyens de transmission radiofréquence du second dispositif,

10 – une émission, après une durée déterminée t_p après la réception du premier chirp, d'un second chirp linéaire de période T_2 et de largeur de bande B_2 par le second dispositif,

– une réception par les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif du second chirp linéaire,

15 – une seconde étape d'estimation du décalage temporel τ_2 de la réception de ce second chirp par les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif,

– une étape de détermination de la distance d entre le premier et le second dispositif à partir de la formule : $d = c \left(\frac{\tau_2 - t_p}{2} \right)$.

20 Avantageusement, le deuxième chirp linéaire peut être identique au premier chirp linéaire. En ce cas, $T_1 = T_2$ et $B_1 = B_2$.

De préférence, la première et/ou la seconde étape d'estimation du décalage temporel τ du signal reçu de réception d'un chirp de période T et de largeur de bande B , comprend :

25 – une étape de numérisation par échantillonnage à intervalles du signal analogique reçu de façon à obtenir un ensemble d'échantillons régulièrement distribués sur la période T du chirp, chaque échantillon étant constitué d'une composante en phase et d'une composante en quadrature de phase avec la fréquence porteuse, déterminant ainsi dans le plan complexe les composantes réelle et imaginaire du signal numérisé,

30

– une étape de multiplication du signal numérisé reçu par le filtre adapté correspondant au signal émis, c'est-à-dire le signal dont chaque échantillon est le conjugué complexe de l'échantillon correspondant dans le chirp émis, ordonné dans l'ordre inverse sur l'axe des temps, sachant

que le signal produit est théoriquement composé de seulement deux tronçons d'harmoniques (sinusoïdales pures), une étape de détermination de la fréquence de l'une ou l'autre ou de ces deux harmoniques de fréquence F_1 et F_2 ,

- 5 – une étape de détermination du décalage temporel suivant la formule,
 $\tau = T \left(\frac{F_1}{B} - 1 \right)$ et/ou $\tau = \frac{TF_2}{B}$.

De préférence, l'étape de détermination de la fréquence de l'une ou l'autre ou des deux harmoniques du signal peut en outre comprendre :

- une étape de calcul de la transformation de Fourier discrète $\{F_k\}$ du signal
 10 produit dans une fenêtre temporelle d'analyse de durée égale à la période T du chirp,
 – une étape de repérage à l'intérieur du spectre d'amplitude du signal produit de l'indice j correspondant à un des deux pics d'énergie, respectivement relatif à l'une ou l'autre des deux harmoniques du signal.

- 15 De préférence, l'étape de détermination de la fréquence de l'une ou l'autre ou des deux harmoniques du signal peut être configurée pour mettre en œuvre une interpolation portant sur les au moins trois valeurs complexes discrètes successives F_j, F_{j-1}, F_{j+1} de la transformée de Fourier $\{F_k\}$ autour d'un des deux pics d'énergie. Bien entendu, cette interpolation peut porter sur
 20 d'autres valeurs adjacentes de la transformée de Fourier.

- De préférence, l'étape de détermination de la fréquence de l'une ou l'autre ou des deux harmoniques du signal, F_1 et/ou F_2 , comprend une étape de calcul de l'écart fréquentiel δp de la fréquence du pic d'énergie retenu par rapport à l'indice j le plus proche comprenant une étape de
 25 minimalisation d'un écart entre les trois valeurs mesurées, F_j, F_{j-1}, F_{j+1} , et les valeurs correspondantes d'une fonction d'interpolation de la forme :
 $f(x) = Ap e^{-1\pi x} \text{sinc}(x)$, dans laquelle $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x) / \sin(x)$ et x est la variable réelle normalisée sans dimension décrivant l'indice k de la transformée de Fourier discrète F_k . La variable x exprime l'excursion de fréquence à partir
 30 du pic. L'origine des x correspond à la fréquence exacte du pic d'énergie. Il peut avantageusement être mis en œuvre une minimalisation de l'écart quadratique des quantités $F_j - f_j, F_{j+1} - f_{j+1}$ et $F_{j-1} - f_{j-1}, f_j, f_{j+1}$ et f_{j-1} étant les valeurs de $f()$ correspondant respectivement aux indices $j, j+1$ et $j-1$.

Avantageusement, une autre étape de calcul de l'écart fréquentiel δp , qui est une alternative de l'étape précédente, comprend une évaluation de l'expression suivante :

$$\frac{F_{j+1} - F_{j-1}}{2 \cdot F_j - F_{j+1} - F_{j-1}} .$$

- 5 De préférence, le procédé comprend une étape pour compenser un biais fréquentiel résultant de réflexions de l'onde radiofréquence du chirp sur son trajet entre les premier et second dispositifs peut mettre en œuvre une évaluation du résidu imaginaire, Res , partie imaginaire de l'expression complexe suivante :

10
$$Res = \Im \left(\frac{F_{j+1} - F_{j-1}}{2 \cdot F_j - F_{j-1} - F_{j+1}} \right) .$$

- De préférence, le procédé selon l'invention comprend la réception d'une séquence de chirps et une étape d'analyse de cette séquence à l'intérieur d'une fenêtre temporelle couvrant une période entière de chirp et pouvant
15 glisser d'une période entière de chirp à chaque étape.

De préférence, le procédé selon l'invention comprend une étape pour recentrer la fenêtre temporelle d'analyse dans le temps de manière à la faire coïncider avec le chirp émis et ainsi concentrer l'énergie dans un seul pic du spectre de fréquence.

- 20 De préférence, la période du chirp peut être un multiple supérieur à deux de l'inverse de la fréquence du pic d'énergie.

De préférence, un chirp peut être constitué d'un ou plusieurs morceaux de chirps linéaires montants ou descendants.

- 25 De préférence, le procédé selon l'invention comprend une étape d'insertion d'un temps mort prédéterminé entre deux chirps consécutifs dans une séquence de chirps.

- 30 De préférence, au moins une des deux étapes d'estimation du décalage temporel peut être mise en œuvre pour recalibrer entre elles les fréquences des horloges internes des premier et deuxième dispositifs, ou au moins tenir compte d'une erreur systématique résultant de l'écart de fréquence entre ces deux horloges.

Un deuxième objet de l'invention est de proposer un procédé de pistage de biens, dit à l'estime, d'au moins un dispositif d'un premier type, dit tag, attaché à un bien à pister, à partir d'un dispositif d'un second type, dit balise, le procédé de pistage de biens à l'estime comprenant :

- 5 – une étape de traitement par le tag pour évaluer un vecteur de déplacement entre deux positions de ce tag, le tag étant muni de moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de ce tag,
- une étape de détermination des distances entre ces tag et balise pour
10 chacune des deux positions du tag, cette étape de détermination de distances mettant en œuvre le procédé de détermination de la distance entre ces deux dispositifs selon l'invention,
- une étape d'analyse pour calculer la position relative du tag par rapport à la balise par triangulation à partir du vecteur de déplacement et des
15 deux distances déterminées entre ce tag et cette balise.

Avantageusement, un procédé de pistage de biens à l'estime selon l'invention peut comprendre une étape de traitement par la balise pour évaluer un vecteur de déplacement entre deux positions de la balise, cette balise étant munie de moyens de captation d'au moins une grandeur
20 physique relative au mouvement de ce tag, l'étape d'analyse pour calculer la position de l'au moins un tag par rapport à cette balise combinant d'une part deux distances entre ce tag et cette balise déterminées en chacun des deux instants considérés et, d'autre part, les vecteurs déplacements respectifs de ce tag et de cette balise entre ces deux instants considérés.

25 Avantageusement, un procédé de pistage de biens à l'estime selon l'invention peut comprendre une étape d'accession par la balise à des données de localisation géographique générées par des moyens de localisation GNSS, l'étape d'analyse pour calculer la position géographique du tag par triangulation portant en outre sur les coordonnées
30 géographiques de la balise dans ces deux positions.

Avantageusement, un procédé de pistage de biens à l'estime selon l'invention peut comprendre une étape de communication de l'au moins une balise avec au moins un terminal distant.

Un troisième objet de l'invention est de proposer un procédé de pistage de biens, dit classique, d'au moins un dispositif d'un premier type, dit tag, attaché à un bien à pister, à partir d'au moins deux dispositifs d'un second type, dit balises, le procédé de pistages de biens comprenant :

- 5 – une étape de détermination des distances entre le tag et les deux balises, pour chacune des deux positions du tag, cette étape de détermination de distances mettant en œuvre le procédé de détermination des distances entre tags et balises selon l'invention,
- une étape d'analyse pour calculer la position relative de l'au moins un
10 tag par triangulation à partir des distances séparant l'au moins un tag des au moins deux balises.

Avantageusement, un procédé de pistage de biens classique selon l'invention peut comprendre une étape de transmission de données entre au moins une des balises et un réseau local.

- 15 Avantageusement, un procédé de pistage de biens classique selon l'invention peut comprendre une étape d'accession à des données de localisation géographique générées par des moyens de localisation GNSS, par au moins un terminal disposé sensiblement au même endroit qu'au moins une des balises, l'étape d'analyse pour déterminer une estimation de
20 la localisation géographique d'au moins un tag combinant des coordonnées géographiques instantanées enregistrées par l'au moins un terminal lors de son déplacement avec les mesures de distance correspondantes du tag avec les au moins deux balises.

- Avantageusement, un procédé de pistage de biens classique selon
25 l'invention peut comprendre une étape de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de la balise et/ou du terminal, l'étape d'analyse comprenant en outre une évaluation affinée des coordonnées de la balise en combinant des coordonnées géographiques instantanées générées par les moyens de navigation GNSS avec des
30 mesures de mouvement générées par les moyens de captation.

Avantageusement, un procédé de pistage de biens classique selon l'invention peut comprendre une étape de communication d'au moins une balise des au moins deux balises avec au moins une autre balise des au moins deux balises.

Avantageusement, un procédé de pistage de biens classique selon l'invention peut comprendre

- une émission par la première balise d'une requête à destination d'une deuxième balise,
- 5 – une détermination par la deuxième balise de la distance séparant cette deuxième balise de l'au moins un tag à réception de la requête,
- une émission d'une information relative à cette distance déterminée à destination de la première balise,
- une analyse par la première balise pour calculer par triangulation une
10 estimation de la position de l'au moins un tag à partir de la position connue de chacune des deux balises et de la distance séparant chacune des deux balises du tag.

Avantageusement, au moins une balise comprend des moyens pour mesurer la distance séparant la balise d'au moins une seconde balise et le
15 procédé de pistage de biens classique selon l'invention peut comprendre :

- une émission par la première balise d'une requête à destination d'une deuxième balise,
- une détermination par la deuxième balise de la distance séparant cette deuxième balise de l'au moins un tag à réception de la requête,
- 20 – une émission d'une information relative à cette distance déterminée à destination de la première balise,
- une analyse par la première balise pour calculer par triangulation une estimation de la position de l'au moins un tag à partir de la position connue de chacune des deux balises et de la distance séparant chacune
25 des deux balises du tag,

l'étape d'analyse comprenant en outre un calcul par triangulation d'une estimation de la position de l'au moins un tag par rapport à la balise à partir des mesures de la distance séparant les deux balises et de la distance séparant chacune des deux balises du tag.

30

Un quatrième objet de l'invention est de proposer un dispositif de détermination d'une distance entre un premier et un second dispositifs, chaque dispositif étant muni de moyens de transmission radiofréquence, les moyens de transmission radiofréquence étant configurés pour émettre un
35 chirp linéaire, un chirp linéaire étant un signal périodique de période T

modulé linéairement entre une fréquence de début et une fréquence de fin définissant une largeur de bande B autour d'une fréquence porteuse et modulé en amplitude par une enveloppe dont les variations sont lentes par rapport aux oscillations de la phase, le dispositif étant caractérisé en ce

5 que :

- les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif sont configurés pour émettre un premier chirp linéaire de période T_1 et de largeur de bande B_1 ;
- les moyens de transmission radiofréquence du second dispositif sont
10 configurés pour recevoir le premier chirp linéaire ;
- des premiers moyens d'estimation d'un décalage temporel sont configurés pour estimer un décalage temporel τ_1 de la réception du premier chirp par les moyens de transmission radiofréquence du second dispositif ;
- 15 – les moyens de transmission radiofréquence du second dispositif sont configurés pour émettre, après une durée déterminée t_p après la réception du premier chirp, un second chirp linéaire de période T_2 et de largeur de bande B_2 ;
- les moyens transmission radiofréquence du premier dispositif sont
20 configurés pour recevoir le second chirp linéaire ;
- des seconds moyens d'estimation d'un décalage temporel sont configurés pour estimer un décalage temporel τ_2 de la réception du second chirp par les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif ;
- 25 – des moyens de détermination de distance sont configurés pour déterminer la distance d entre le premier et le second dispositif à partir de la formule : $d = c \left(\frac{\tau_2 - t_p}{2} \right)$.

Un cinquième objet de l'invention est de proposer un système de pistage
30 de biens comprenant :

- au moins un dispositif d'un premier type, dit tag, attaché à un bien à pister, le tag étant muni de moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de ce tag ainsi que de

moyens de traitement pour évaluer un vecteur de déplacement entre deux positions de ce tag ;

- au moins un dispositif d'un deuxième type, dit balise, chaque dispositif étant muni de moyens de transmission radiofréquence.

5 Le système comprenant en outre :

- des moyens de détermination de la distance entre les deux dispositifs à partir de signaux radiofréquences échangés entre ces deux dispositifs ;

- des moyens d'analyse configurés pour calculer la position relative du tag par rapport à la balise par triangulation à partir du vecteur de

10 déplacement et des deux distances déterminées entre ce tag et cette balise dans chacune des positions du tag.

De préférence, l'au moins une balise du système de pistage de ce cinquième objet peut être opérable en mobilité et cette balise peut être munie de moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative

15 au mouvement de la balise ainsi que de moyens de traitement pour évaluer le vecteur déplacement de cette balise entre deux instants considérés, le système comprenant en outre des seconds moyens d'analyse configurés

pour calculer la position de l'au moins un tag par rapport à cette balise en combinant d'une part deux distances entre ce tag et cette balise

20 déterminées en chacun des deux instants considérés et, d'autre part, les vecteurs déplacements respectifs de ce tag et de cette balise entre ces deux instants considérés.

De préférence, l'au moins une balise du système de pistage de ce cinquième objet peut être opérable en mobilité et peut être agencée pour

25 accéder à des données de localisation géographique générées par des moyens de localisation GNSS agencés pour générer les données géographiques, les moyens de localisation GNSS étant intégrés à la balise

ou à un terminal mobile placé sensiblement au même endroit que l'au moins une balise, les moyens d'analyse étant configurés pour calculer la

30 position géographique du tag par triangulation portant en outre sur les coordonnées géographiques de la balise dans ces deux positions.

De préférence, le système de ce cinquième objet comprend au moins un terminal distant, ce terminal distant comprenant des moyens de communication, l'au moins une balise comprenant des moyens de

communication configurés pour communiquer avec les moyens de communication du terminal distant.

De préférence, les moyens de transmission radiofréquence du système de ce cinquième objet peuvent être chacun agencés pour émettre un chirp linéaire, un chirp linéaire étant un signal périodique de période T modulé linéairement entre une fréquence de début et une fréquence de fin définissant une largeur de bande B autour d'une fréquence porteuse et modulé en amplitude par une enveloppe dont les variations sont lentes par rapport aux oscillations de la phase, chaque dispositif comprenant une unité d'estimation d'un décalage temporel τ du signal reçu agencée pour estimer un décalage temporel entre l'émission d'un chirp linéaire et sa réception par ce dispositif à partir du chirp linéaire reçu.

Un sixième objet de l'invention est de proposer un procédé de pistage de biens, dit à l'estime, d'au moins un dispositif d'un premier type, dit tag, attaché à un bien à pister, à partir d'un dispositif d'un second type, dit balise, le procédé de pistage de biens comprenant :

- une étape de traitement par le tag pour évaluer un vecteur de déplacement entre deux positions de ce tag, le tag étant muni de moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de ce tag,
- une étape de détermination des distances entre ces tag et balise pour chacune des deux positions du tag,
- une étape d'analyse pour calculer la position relative du tag par rapport à la balise par triangulation à partir du vecteur de déplacement et des deux distances déterminées entre ce tag et cette balise dans chacune des positions du tag.

Avantageusement, le procédé de pistage de biens à l'estime peut comprendre une étape de traitement par la balise pour évaluer un vecteur de déplacement entre deux positions de la balise, cette balise étant munie de moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de ce tag, l'étape d'analyse pour calculer la position de l'au moins un tag par rapport à cette balise combinant d'une part deux distances entre ce tag et cette balise déterminées en chacun des deux

instants considérés et, d'autre part, les vecteurs déplacements respectifs de ce tag et de cette balise entre ces deux instants considérés.

Avantageusement, le procédé de pistage de biens à l'estime peut comprendre une étape d'accession par la balise à des données de localisation géographique générées par des moyens de localisation GNSS, l'étape d'analyse pour calculer la position géographique du tag par triangulation portant en outre sur les coordonnées géographiques de la balise dans ces deux positions.

Avantageusement, le procédé de pistage de biens à l'estime peut comprendre une étape de communication de l'au moins une balise avec au moins un terminal distant.

Avantageusement, dans le procédé de pistage de biens à l'estime, les moyens de transmission radiofréquence peuvent être chacun agencés pour émettre un chirp linéaire, un chirp linéaire étant un signal périodique de période T modulé linéairement entre une fréquence de début et une fréquence de fin définissant une largeur de bande B autour d'une fréquence porteuse et modulé en amplitude par une enveloppe dont les variations sont lentes par rapport aux oscillations de la phase, le procédé de pistage de biens à l'estime comprenant une étape d'estimation d'un décalage temporel τ du signal reçu agencée pour estimer un décalage temporel entre l'émission d'un chirp linéaire et sa réception par ce dispositif à partir du chirp linéaire reçu.

Un septième objet de l'invention est de proposer un système de pistage de biens à l'estime comprenant :

- au moins un dispositif d'un premier type, dit tag, attaché à un bien à pister, le tag étant muni de moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de ce tag ainsi que de moyens de traitement pour évaluer un vecteur de déplacement entre deux positions de ce tag,
- au moins un dispositif d'un second type, dit balise, chaque dispositif étant muni de moyens de transmission radiofréquence, les moyens de transmission radiofréquence étant chacun agencés pour émettre un chirp linéaire, un chirp linéaire étant un signal périodique de période T modulé linéairement entre une fréquence de début et une fréquence de fin

définissant une largeur de bande B autour d'une fréquence porteuse et modulé en amplitude par une enveloppe dont les variations sont lentes par rapport aux oscillations de la phase, chaque dispositif comprenant une unité
5 temporel entre l'émission d'un chirp linéaire par l'autre dispositif et sa réception par ce dispositif.

Le système comprend en outre :

- des moyens de détermination de la distance entre ces deux dispositifs à partir de signaux radiofréquences échangés entre ces deux dispositifs ;
- 10 – des moyens d'analyse configurés pour calculer la position relative du tag par rapport à la balise par triangulation à partir de ce vecteur de déplacement et des deux distances déterminées entre ce tag et cette balise à partir d'un procédé selon l'invention dans chacune des positions du tag.

15 Avantageusement, l'au moins une balise de ce système de pistage de biens peut être opérable en mobilité et cette balise peut être munie de moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de la balise ainsi que de moyens traitement pour évaluer le vecteur déplacement de cette balise entre deux instants considérés, le
20 système comprenant en outre des seconds moyens d'analyse configurés pour calculer la position de l'au moins un tag par rapport à cette balise en combinant d'une part deux distances entre ce tag et cette balise déterminées en chacun des deux instants considérés et, d'autre part, les vecteurs déplacements respectifs de ce tag et de cette balise entre ces deux
25 instants considérés.

De préférence, l'au moins une balise peut être opérable en mobilité et peut être agencée pour accéder à des données de localisation géographique générées par des moyens de localisation GNSS agencés pour générer les données géographiques, les moyens de localisation GNSS étant intégrés à
30 la balise ou à un terminal mobile placé sensiblement au même endroit que l'au moins une balise, les moyens d'analyse étant configurés pour calculer la position géographique du tag par triangulation portant en outre sur les coordonnées géographiques de la balise dans ces deux positions.

Avantageusement, le système selon l'invention peut comprendre au
35 moins un terminal distant, ce terminal distant comprenant des moyens de

communication, l'au moins une balise comprenant des moyens de communication configurés pour communiquer avec les moyens de communication de ce terminal distant.

- 5 Un huitième objet de l'invention est de proposer un système de pistage de biens comprenant :
- au moins un dispositif d'un premier type, dit tag, attaché à un bien à pister ;
 - au moins deux dispositifs d'un deuxième type, dits balises ;
- 10 chaque dispositif étant muni de moyens de transmission radiofréquence, les moyens de transmission radiofréquence étant chacun agencés pour émettre un chirp linéaire, un chirp linéaire étant un signal périodique de période T modulé linéairement entre une fréquence de début et une fréquence de fin définissant une largeur de bande B autour d'une fréquence porteuse et
- 15 modulé en amplitude par une enveloppe dont les variations sont lentes par rapport aux oscillations de la phase, chaque dispositif comprenant une unité d'estimation de décalage temporel agencée pour estimer un décalage temporel entre l'émission d'un chirp linéaire et sa réception par ce dispositif à partir du chirp linéaire reçu.
- 20 Le système de pistage de bien selon le huitième objet de l'invention peut avantageusement comprendre :
- des moyens de détermination de distance agencés pour mettre en œuvre un procédé selon l'invention pour déterminer les distances séparant l'au moins un tag des au moins deux balises ;
 - 25 – des moyens d'analyse configurés pour calculer la position relative de l'au moins un tag par triangulation à partir des distances séparant l'au moins un tag des au moins deux balises.

De préférence, au moins une des balises du système selon ce huitième objet peut être munie de moyens de raccordement à un réseau local, les

30 moyens de raccordement pouvant être filaires ou sans fil et aptes à transmettre des données.

De préférence, le système selon ce huitième objet peut comprendre au moins un terminal. Cet au moins un terminal peut être placé sensiblement au même endroit qu'au moins une des balises, cette balise et ce terminal

35 étant opérables conjointement en mobilité, ce terminal étant muni de

moyens de navigation GNSS et les moyens d'analyse du système étant en outre configurés pour déterminer une estimation de la localisation géographique d'au moins un tag en combinant des coordonnées géographiques instantanées enregistrées par cet au moins un terminal lors
5 de son déplacement avec les mesures de distance correspondantes du tag avec les au moins deux balises.

De préférence, la balise et/ou le terminal du système selon ce huitième objet peut comprendre en outre des moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de la balise et/ou du terminal,
10 les moyens d'analyse du système étant en outre configurés pour calculer une évaluation affinée des coordonnées de la balise en combinant des coordonnées géographiques instantanées générées par les moyens de navigation GNSS avec des mesures de mouvement générées par les moyens de captation.

15 De préférence, l'au moins un terminal et l'au moins une balise du système selon ce huitième objet forment un unique appareil comprenant en outre un écran de visualisation.

De préférence, au moins une balise des au moins deux balises du système selon ce huitième objet est apte et configurée pour communiquer
20 avec au moins une autre balise des au moins deux balises.

Selon une première branche de ce système selon ce huitième objet :

- des moyens de communication d'une première balise sont configurés pour émettre une requête à destination d'une deuxième balise ;
- des moyens de communication de la deuxième balise sont configurés
25 pour déterminer la distance séparant cette deuxième balise de l'au moins un tag à réception de la requête, ces moyens de communication étant en outre configurés pour émettre une information relative à cette distance à destination de la première balise ;
- les moyens de communication de la première balise sont configurés pour
30 calculer par triangulation une estimation de la position de l'au moins un tag à partir de la position connue de chacune des deux balises et de la distance séparant chacune des deux balises du tag.

Selon une deuxième branche de ce système selon ce huitième objet, au moins une balise comprend des moyens pour mesurer la distance séparant
35 la balise d'au moins une seconde balise et :

- les moyens de communication de la première balise sont configurés pour émettre une requête à destination d'une deuxième balise ;
 - les moyens de communication de la deuxième balise sont configurés pour déterminer la distance séparant cette deuxième balise de l'au moins un tag à réception de la requête, ces moyens de communication étant en outre configurés pour émettre une information relative à cette distance à destination de la première balise ;
 - les moyens de communication de la première balise sont configurés pour calculer par triangulation une estimation de la position de l'au moins un tag à partir de la position connue de chacune des deux balises et de la distance séparant chacune des deux balises du tag ;
- la première balise comprenant des moyens pour calculer par triangulation une estimation de la position de l'au moins un tag par rapport à la balise à partir des mesures de la distance séparant les deux balises et de la distance séparant chacune des deux balises du tag.

Description des figures

- D'autres avantages et particularités de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée de mises en œuvre et de modes de réalisation nullement limitatifs, au regard de dessins annexés sur lesquels :
- la figure 1 représente schématiquement un système de pistage de biens selon l'invention ;
 - la figure 2 illustre deux positions successives d'un bien à pister ;
 - la figure 3 représente deux possibilités de positionnement d'un bien à pister ;
 - la figure 4 représente une solution à un problème de triangulation d'un bien à pister ;
 - la figure 5 illustre un système de pistage selon l'invention comprenant en outre un terminal mobile ;
 - la figure 6 représente un système de pistage selon l'invention comprenant en outre la possibilité de placer à distance des moyens d'analyse ;
 - la figure 7 représente le graphe d'un chirp montant ;
 - la figure 8 représente le graphe d'un chirp descendant ;

- la figure 9 représente le graphe d'une séquence de chirp montant décalée dans le temps ;
- la figure 10 représente le graphe d'une séquence de chirp montant décalée dans le temps et multipliée par un filtre adapté au chirp montant ;
- la figure 11 représente la transformée de Fourier du graphe représenté sur la figure 10 ;
- la figure 12 représente la transformée de Fourier discrète du graphe représenté sur la figure 10 ;
- la figure 13 représente le graphe de la fonction sinus cardinal ;
- les figures 14 et 15 représentent schématiquement un autre système de pistage de biens selon l'invention.

Description de modes de réalisation

Les modes de réalisation décrits ci-après étant nullement limitatifs, on pourra notamment considérer des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques décrites, par la suite isolées des autres caractéristiques décrites (même si cette sélection est isolée au sein d'une phrase comprenant ces autres caractéristiques), si cette sélection de caractéristiques est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieure. Cette sélection comprend au moins une caractéristique, de préférence fonctionnelle sans détails structurels, ou avec seulement une partie des détails structurels si cette partie uniquement est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieure.

Dans une première partie de la description, il est décrit en référence à la figure 1, un premier mode de réalisation d'un système 100 de pistage de biens à l'estime selon l'invention.

Le système 100 de pistage de biens comprend :

- un dispositif 102 d'un premier type, dit tag, attaché à un bien à pister 104, le tag 102 étant muni de moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de ce tag ainsi que de

moyens de traitement pour évaluer un vecteur de déplacement entre deux positions de ce tag,

- au moins un dispositif 106 d'un deuxième type, dit balise.

Le tag 102 et la balise sont reliés par une liaison radiofréquence 108. Tag
5 et balise sont munis de moyens de transmission radiofréquence. Le système
100 comprend en outre :

- des moyens de détermination de la distance entre les deux dispositifs à partir de signaux radiofréquences échangés entre ces deux dispositifs, et
- 10 – des moyens d'analyse configurés pour calculer la position relative du tag par rapport à la balise par triangulation à partir du vecteur de déplacement du tag et des deux distances déterminées entre ce tag et cette balise dans chacune des positions du tag.

Mesurer simplement la distance entre tag et balise ne suffit pas en soi à
15 déterminer la position du tag par rapport à la balise, considérant qu'il faut
connaitre d'autres éléments de la géométrie, tels que la position d'un autre
point et au moins une autre distance pour déterminer la position d'un point
par rapport à un autre dans un plan. Ainsi, l'originalité de ce premier objet
de l'invention réside dans la combinaison de la mesure de distance entre
20 tag et balise par la détermination du temps de vol d'un signal
radiofréquence avec une estimation du déplacement du tag obtenue à partir
d'un système de navigation à l'estime embarqué dans le tag reposant sur la
captation d'une ou plusieurs grandeurs physiques relatives au mouvement
du tag.

25 L'accélération est la grandeur physique de base servant à déterminer le
vecteur déplacement par double intégration de l'accélération suivant trois
ou six axes délivrée par un microsystème électromécanique (MEMS, pour
l'anglais « Microelectromechanical systems »), par exemple à partir de trois
accélérations linéaires et trois accélérations angulaires. Dans une variante
30 de ce mode de réalisation, l'accélération peut être dérivée à partir d'autres
paramètres physiques caractéristiques du mode de déplacement du bien
pisté, tels que le nombre de pas pour des humains ou des animaux ainsi
que l'amplitude de la foulée, ou encore par une combinaison des deux
méthodes. Un magnétomètre, aussi sous forme de microsystème
35 électromécanique, peut également être utile pour recadrer le mouvement

dans la direction de déplacement prédominante. Deux autres microsystemes électromécaniques fournissant une mesure extrêmement fine de la pression atmosphérique permettent de détecter d'infimes variations d'altitude résultant par exemple de la montée des marches d'un
5 escalier.

La fusion de la captation de ces grandeurs physiques à l'intérieur d'un système de navigation à l'estime (dead reckoning) peut suffire à fournir, suivant l'état de l'art, une estimation du vecteur déplacement d'un piéton ou d'un animal sur quelques dizaines, voire centaines de mètres ou plus
10 dans le cas d'un véhicule, pour peu que le déplacement du bien pisté ne soit pas trop erratique et que la durée d'intégration reste limitée à quelques secondes ou tout au plus quelques dizaines de secondes suivant les configurations.

En combinant le vecteur déplacement entre deux positions du tag avec
15 une mesure de distance fiable, reproductible et qui n'est pas sujette à dérive dans le temps, on parvient à localiser le tag par rapport à une seule et unique balise, ce qui constitue en soi une avancée importante par rapport à tous les autres systèmes nécessitant l'emploi de plusieurs balises.

Il est illustré sur la figure 2, deux positions T_1 et T_2 successives du tag
20 considérées et les distances tag/balise et d_1 et d_2 respectives déterminées en ces deux positions. Le point S est la position connue de la balise 106. \mathbf{D}_{12} est le vecteur déplacement en les deux positions. Ce vecteur est fourni par le système de navigation à l'estime résultant de la captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement du tag 102. Connaissant la
25 distance du tag 102 par rapport à la balise 106 dans les deux positions T_1 et T_2 , le problème de la localisation du tag 102 dans le plan se ramène à déterminer l'azimut, θ , c'est-à-dire la direction dans laquelle il se trouve par rapport à la balise 106. C'est un problème connu de géométrie plane où connaissant S, d_1 et d_2 ainsi que le vecteur \mathbf{D}_{12} , il faut positionner le vecteur
30 \mathbf{D}_{12} par rapport à S. Par exemple, et comme illustré à la figure 2, une construction simple parmi beaucoup d'autres constructions possibles consiste à placer le point S à l'intersection du cercle centré en T_1 et de rayon d_1 avec celui centré en T_2 et de rayon d_2 . La solution d'un tel problème de géométrie du triangle est rangée sous le vocable général de

« triangulation », regroupant à la fois les méthodes dites de triangulation et trilatération.

Comme l'illustre la figure 3, le vecteur déplacement du tag \mathbf{D}_{12} , peut être placé a priori en deux positions symétriques par rapport à la position S de la balise 106, entre les cercles de rayon d_1 et d_2 , la balise 106 étant située au centre. Cette ambiguïté est facilement levée en effectuant une troisième mesure à partir d'une troisième position, T_3 : considérant que des vecteurs déplacements successifs \mathbf{D}_{12} et \mathbf{D}_{23} doivent être aboutés dans cet ordre, seule la position du haut dans le cas présent remplit cette condition.

Dans une première variante de ce mode de réalisation, la balise 106 est opérable en mobilité. En pratique la balise est munie de moyens d'alimentation autonome et elle est de taille suffisamment réduite pour être transportable, voire portable sur soi dans la poche ou sous forme d'un collier, bracelet, montre, tag, etc. De manière similaire au tag, la balise peut embarquer des moyens de navigation à l'estime reposant sur la captation d'une ou plusieurs grandeurs physiques relative au mouvement de la balise. Il convient alors de prendre en compte les vecteurs déplacements respectifs du tag et de la balise.

Cette balise 106 est munie de moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement celle-ci ainsi que de moyens traitement pour évaluer le vecteur déplacement de celle-ci entre deux instants considérés. Le système 100 comprend en outre des seconds moyens d'analyse configurés pour calculer la position de l'au moins un tag par rapport à cette balise 106 en combinant d'une part deux distances entre ce tag 102 et cette balise 106 déterminées en chacun des deux instants considérés et, d'autre part, les vecteurs déplacements respectifs de ce tag et de cette balise entre ces deux instants considérés.

Cette première variante est particulièrement bien illustrée par la figure 4, sur laquelle S_1 et S_2 sont les deux positions de la balise 106 mobile aux temps t_1 et t_2 , T_1 et T_2 sont les deux positions correspondantes du tag 102, d_1 et d_2 les deux distances tag/balise et \mathbf{D}_S et \mathbf{D}_T , les vecteurs déplacements respectifs du tag 102 et de la balise 106 en t_1 et t_2 . Le problème de la détermination de la dernière position du tag, T_2 , par rapport à S_2 connaissant S_1 , S_2 , D_S , D_T , d_1 et d_2 admet plusieurs solutions de géométrie plane. On peut par exemple situer T_e à l'intersection des cercles (S_1 , d_1) et

(S_2, d_2) dans un premier temps, puis placer D_T en T_e ce qui détermine le point M à son extrémité et enfin tracer le cercle (S_1, S_1T_2) qui intersecte (S_2, d_2) en T_2 . La solution d'un tel problème de géométrie du triangle est également rangée sous le vocable général de « triangulation ».

5 Dans une deuxième variante de l'invention éventuellement combinable avec la première, la balise 106 est opérable en mobilité et est agencée pour accéder à des données de localisation géographique générées par des moyens de localisation GNSS agencés pour générer les données géographiques. Le GPS américain est l'un de ces systèmes de localisation
10 GNSS.

La figure 5 illustre bien le système 100 comprenant en outre un terminal mobile 110 placé sensiblement au même endroit que cette balise 106. La liaison radiofréquence 108 entre le tag 102 et la balise 106 est propriétaire (mais pourrait ne pas l'être). Typiquement, le tag 102 et le terminal mobile
15 sont reliés par une liaison radiofréquence 112 normalisée. Le terminal mobile comprend les moyens de localisation GNSS qui sont en outre agencés pour recevoir des données 114 de type GNSS via une liaison radiofréquence 116 de type GNSS.

On peut considérer dans ce cas que la position de la balise et de
20 l'appareil mobile à proximité sont confondues, le terme « proximité immédiate » signifiant à une distance sensiblement inférieure à la précision de localisation du système GNSS, soit à moins d'un ou plusieurs mètres pour fixer un ordre de grandeur. On peut, par exemple, pour le repérage d'un piéton ou d'un animal de compagnie, embarquer la balise dans un
25 véhicule se déplaçant à relativement grande vitesse par rapport au piéton et localiser ainsi le piéton assez facilement à partir de points successifs réalisés en continu ou à intervalles pendant le trajet.

De manière alternative, la balise peut embarquer les moyens de localisation GNSS.

30 De manière similaire au tag, la balise peut embarquer des moyens de navigation à l'estime reposant sur la captation d'une ou plusieurs grandeurs physiques relative au mouvement de la balise. Il convient alors de prendre en compte les vecteurs déplacements respectifs du tag et de la balise.

Les moyens d'analyse sont alors configurés pour calculer la position géographique du tag 102 par triangulation portant en outre sur les coordonnées géographiques de la balise 106 dans ces deux positions.

Un cas particulier de cette configuration est celui où la vitesse de déplacement du tag est faible devant celle de la balise, ce qui se traduit par $|\mathbf{D}_T| \ll |\mathbf{D}_S|$, et permet de négliger le déplacement du tag devant celui de la balise entre les deux temps de mesure t_1 et t_2 . Ceci revient à considérer comme confondus les trois points T_1 , T_2 et T_e dans la figure 4, ce qui ramène le problème géométrique à résoudre à une triangulation simple à partir de S_1 , S_2 , d_1 , d_2 . C'est notamment le cas où l'on cherche à repérer un piéton à partir d'une automobile embarquant balise et système GNSS. Il devient alors superflu de munir le tag de moyens de détermination de son vecteur déplacement.

Dans un deuxième mode de réalisation d'un système de pistage de biens à l'estime selon l'invention, la connexion à un terminal distant est avantageusement étendue afin d'y loger les moyens d'analyse pour calculer la position du tag. Cette configuration plus générale est illustrée sur la figure 6, où les moyens d'analyse peuvent être logés dans un terminal distant 118 relié à la balise 106 par un canal de communication, avec ou sans fil.

Dans une seconde partie de la description, il est maintenant décrit un mode de réalisation d'un procédé selon l'invention de détermination d'une distance entre un premier et un second dispositifs. Les deux dispositifs sont munis de moyens de transmission radiofréquence.

Les moyens de transmission radiofréquence sont configurés pour émettre un chirp linéaire.

Dans toute cette description, un chirp linéaire étant un signal périodique de période T modulé linéairement entre une fréquence de début et une fréquence de fin définissant une largeur de bande B autour d'une fréquence porteuse et modulé en amplitude par une enveloppe dont les variations sont lentes par rapport aux oscillations de la phase, le procédé comprenant. Ainsi qu'illustré à la figure 7, un chirp linéaire montant est représenté par l'équation suivante, sur une période, T , de $-T/2$ à $+T/2$:

$$Z(t) = A e^{\frac{I\pi B}{T} \left(\frac{T}{2} + t\right)^2}$$

dans laquelle :

- $Z(t)$: chirp sous forme d'exponentielle complexe
 - 5 • I : unité imaginaire complexe ($I^2 = -1$)
 - B : bande de fréquence du chirp
 - T : période du chirp
 - A : amplitude de l'enveloppe constante
- 10 Le procédé selon l'invention comprend
- une émission par les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif d'un premier chirp linéaire de période T et de largeur de bande $B1$,
 - une réception par les moyens de transmission radiofréquence du second
 - 15 dispositif du premier chirp linéaire,
 - une première étape d'estimation du décalage temporel τ_1 de la réception de ce premier chirp par les moyens de transmission radiofréquence du second dispositif,
 - une émission, après une durée déterminée t_p après la réception du
 - 20 premier chirp, d'un second chirp linéaire de période $T2$ et de largeur de bande $B2$ par le second dispositif,
 - une réception par les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif du second chirp linéaire,
 - une seconde étape d'estimation du décalage temporel τ_2 de la réception
 - 25 du second chirp par les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif,
 - une étape de détermination de la distance d entre le premier et le second dispositif à partir de la formule : $d = c \left(\frac{\tau_2 - t_p}{2}\right)$.
- Les première et seconde étapes d'estimation du décalage temporel τ de
- 30 la réception d'un chirp de période T et de largeur de bande B , comprennent :
- une étape de numérisation par échantillonnage à intervalles du signal analogique reçu de façon à obtenir un ensemble d'échantillons régulièrement distribués sur la période T du chirp, chaque échantillon

étant constitué d'une composante en phase et d'une composante en quadrature de phase avec la fréquence porteuse, déterminant ainsi dans le plan complexe les composantes réelle et imaginaire du signal numérisé,

- 5 – une étape de multiplication du signal numérisé reçu par le filtre adapté correspondant au signal émis, c'est-à-dire le signal dont chaque échantillon est le conjugué complexe de l'échantillon correspondant dans le chirp émis, ordonné dans l'ordre inverse sur l'axe des temps.

10 Le filtre adapté au chirp d'équation $Z(t)$ est défini comme la fonction conjuguée complexe ordonné symétriquement suivant l'axe des temps, obtenue donc en prenant le conjugué complexe de la valeur instantanée de la fonction originale $Z(t)$ et en changeant t en $-t$. Il est illustré sur la figure 8 le filtre adapté suivant cette définition qui est le chirp descendant (down-chirp) d'équation :

$$Zb(t) = A e^{-\frac{1\pi B}{T} \left(\frac{T}{2} - t\right)^2}$$

Une propriété remarquable qu'utilise la présente invention est que la fonction produit de $Z(t)$ par son filtre adapté $Zb(t)$ est une simple harmonique, $ZZb(t)$, de fréquence B , le terme « harmonique » désignant ici un signal sinusoïdal pur :

$$ZZb := A^2 e^{21\pi B t}.$$

Ainsi, l'équation du chirp montant décalé d'un temps, τ , par rapport à l'origine, sur une période de $-T/2$ à $+T/2$ est, comme illustré à la figure 9 :

$$Zd := \begin{cases} A e^{\frac{1\pi B \left(t + \tau + \frac{1}{2} T\right)^2}{T}} & -\frac{1}{2} T \leq t \text{ and } t < \frac{1}{2} T - \tau \\ A e^{\frac{1\pi B \left(t + \tau - \frac{1}{2} T\right)^2}{T}} & \frac{1}{2} T - \tau \leq t \text{ and } t \leq T \end{cases}$$

25 Le produit temporel du chirp décalé, $Zd(t)$, par le filtre adapté de $Z(t)$, $Zb(t)$, devient la fonction produit $ZdZb(t)$, illustré à la figure 10, d'équation :

$$ZdZb := \begin{cases} A^2 e^{21\pi B \left(\left(1 + \frac{\tau}{T}\right)t + \frac{1}{2} \tau \left(1 + \frac{\tau}{T}\right)\right)} & -\frac{1}{2} T \leq t \text{ and } t < \frac{1}{2} T - \tau \\ A^2 e^{21\pi B \left(\frac{\tau t}{T} - \frac{1}{2} \tau \left(1 - \frac{\tau}{T}\right)\right)} & \frac{1}{2} T - \tau \leq t \text{ and } t \leq T \end{cases}$$

Le fait remarquable dans ce résultat est que la fonction produit $ZdZb(t)$ se réduit à deux tronçons d'harmonique de fréquence respective F_2 et F_1 comme l'illustre la figure 11.

- 5 Ainsi les première et seconde étapes d'estimation du décalage temporel τ de la réception d'un chirp de période T et de largeur de bande B , comprennent en outre :
- une étape de détermination de la fréquence de l'une ou l'autre ou des deux harmoniques F_1 et F_2 composant le signal produit,
 - 10 – une étape de détermination du décalage temporel suivant la formule, $\tau = T \left(\frac{F_1}{B} - 1 \right)$ et/ou $\tau = \frac{TF_2}{B}$.

L'étape de détermination de la fréquence de l'une ou l'autre ou des deux harmoniques du signal comprend :

- une étape de calcul de la transformation de Fourier discrète $\{F_k\}$ du signal produit dans une fenêtre temporelle d'analyse de durée égale à la
- 15 période T du chirp,
- une étape de repérage à l'intérieur du spectre d'amplitude du signal produit de l'indice j correspondant à un des deux pics d'énergie respectivement relatifs à l'une ou l'autre des deux harmoniques du
- 20 signal.

Le spectre d'amplitude de la transformée de Fourier discrète du produit $ZdZb$, représenté à la figure 11, fait clairement apparaître les deux pics correspondant aux fréquences F_1 et F_2 des deux harmoniques.

- Le décalage temporel, τ , peut être calculé à partir de la mesure de la
- 25 fréquence de l'un ou de l'autre des pics, ou des deux à partir des équations :

$$\tau = T \frac{F_1}{B} ; \tau = T \left(\frac{F_2}{B} - 1 \right)$$

- Quand le décalage τ est relativement faible par rapport à la période T , le second tronçon, correspondant dans l'exemple ci-dessus à l'harmonique de fréquence la plus basse F_1 , est raccourci par rapport au tronçon principal,
- 30 correspondant à l'harmonique F_2 de fréquence plus haute, dont la fréquence se rapproche de la fréquence centrale B et qui concentre l'essentiel de l'énergie.

Ainsi, le procédé de mesure du décalage temporel, τ , du signal de chirp entrant dans le récepteur met en œuvre :

- une émission d'une séquence de chirps linéaires identiques envoyée par le modulateur de l'émetteur,
- 5 – une réception de la séquence reçue et un traitement par le démodulateur du récepteur ainsi qu'une conversion en un signal numérique échantillonné en bande de base,
- une multiplication du signal reçu par le filtre adapté correspondant au chirp émis, généré localement dans le récepteur,
- 10 – un calcul de la transformée de Fourier complexe du produit, faisant apparaître les deux pics susmentionnés,
- un calcul du décalage temporel, τ , qui peut être calculé à partir de la mesure de la fréquence de l'un ou l'autre des pics, ou des deux à partir des formules susmentionnées.

15

On pourrait penser que le repérage de la fréquence discrète du pic dans la transformée de Fourier numérique suffit à assurer une bonne précision de mesure du temps de vol et à partir de là, de la distance de vol. En pratique et sauf à utiliser une bande de fréquence de base très large en dehors des

20 bandes publiques ISM (pour Industrie, Science et Médical), ce n'est pas le cas. En effet et suivant un résultat bien connu pour les radars, la précision de mesure sur la distance de vol est inversement proportionnelle à la largeur de bande B . L'erreur correspondant ici à un demi-pas de fréquence de numérisation de la transformée de Fourier numérique (DFT) est :

25 $\Delta D = c/(2B)$. A titre d'illustration, pour une largeur de bande de 500 kHz, l'erreur sur la distance, ΔD , est de plus ou moins 300 mètres. En conclusion et à défaut de recourir à une bande de fréquence large, il est nécessaire d'interpoler très précisément les valeurs de la DFT autour du pic d'énergie

30 (ou des deux pics d'énergie) pour atteindre une précision de l'ordre du mètre avec une portée de quelques centaines de mètres visées dans le cadre de l'invention.

Le procédé comprend la réception d'une séquence de chirps et une étape d'analyse de cette séquence à l'intérieur d'une fenêtre temporelle couvrant

une période entière de chirp et pouvant glisser d'une période entière de chirp à chaque étape.

A la réception, la séquence de chirps est numérisée en une fois. L'analyse du signal porte ensuite sur une fenêtre mobile de durée T égale à la période
5 d'un chirp, la fenêtre d'analyse glissant d'une période T à chaque fois pour analyser le chirp suivant.

Le système de fenêtre glissant d'une valeur arbitraire est nécessaire pour analyser les chirps à l'intérieur d'une séquence reçue. Lorsqu'il s'agit d'une séquence de chirps identiques comme il en a été question jusqu'ici, la
10 transformée de Fourier de chacun des chirps peut être calculée et ajoutée aux précédentes dans un accumulateur, ce qui permet de faire ressortir le signal cohérent du bruit, suivant une méthode de cumul bien connue en analyse du signal.

D'un premier repérage de la valeur de la fréquence discrète
15 correspondant au pic dominant, on peut déduire une première estimation du décalage temporel du signal, τ , par rapport à l'horloge du récepteur. A partir de là, on peut faire glisser la fenêtre d'analyse de la valeur de ce décalage afin de la faire coïncider ainsi avec le signal entrant, ce qui a pour vertu de concentrer l'énergie du signal dans un seul pic de fréquence
20 sensiblement égal à la largeur de bande du signal, B . La figure 6 illustre le spectre de la transformée de Fourier discrète correspondant à une fenêtre d'analyse recentrée sur la période du chirp. Sur la figure 6, au bruit de calcul numérique près, toute l'énergie est concentrée dans la raie de fréquence B .

25

Ainsi, le procédé selon l'invention comprend une étape pour recentrer la fenêtre temporelle d'analyse dans le temps de manière à coïncider avec le chirp émis et ainsi concentrer l'énergie dans un seul pic du spectre de fréquence.

30

Dans le mode de réalisation du procédé selon l'invention ici décrit, il est réalisé des mesures successives du décalage à l'intérieur d'une séquence de chirps identiques. Si tant est que la fréquence de l'horloge de l'émetteur se trouve parfaitement égale à celle du récepteur, la différence $\Delta\tau$ entre deux

mesures du décalage temporel τ doit être un multiple du nombre de périodes de chirp, k , séparant les deux chirps analysés : $\Delta\tau=k.T$.

Il en découle la correction à appliquer à la fréquence de l'horloge du récepteur, Fh , pour l'aligner sur celle de l'émetteur :

$$5 \quad \frac{\Delta Fh}{Fh} = \frac{\Delta\tau}{k.T}$$

A titre d'exemple, considérons le cas pratique d'une bande passante de 500 kHz et d'une séquence de 50 chirps identiques de 4096 échantillons chacun, utilisés pour faire un cumul des transformées de Fourier sur la séquence : la période T du chirp est de 2 ms environ, soit 100 ms pour la
 10 durée de la séquence de chirps. Le temps de traitement, t_p , inclut le temps d'acquisition de toute la séquence. Il est donc supérieur à la durée de la séquence, par exemple de 200 ms. La précision typique d'un oscillateur à quartz compensé en température (TCXO, pour l'anglais « Temperature
 15 Controlled Crystal Oscillator ») suivant l'état de l'art est de l'ordre de 5 ppm, soit 1 μ s ou 1000 ns sur 200 ms, ce qui à raison de 3 ns/m pour la vitesse de la lumière conduit à une erreur systématique de plus de 300 m sur la distance mesurée. Considérant le niveau de précision visé dans la
 20 mesure de distance en comparaison de la précision des horloges électroniques suivant l'état de l'art, on comprend l'importance que revêt une telle correction.

Dans le mode de réalisation ici décrit du procédé selon l'invention, au moins une des deux étapes d'estimation du décalage temporel est mise en œuvre pour recalibrer entre elles les fréquences des horloges internes des
 25 premier et deuxième dispositifs.

Ayant recentré la fenêtre d'analyse avec une erreur maximum d'un demi-pas de fréquence, c'est à dire de plus ou moins $\Delta f/2$, de manière à concentrer l'énergie dans un seul pic, il subsiste néanmoins dans le cas
 30 général un écart temporel résiduel, τ , qui provient du fait que la fréquence exacte du pic ne tombe pas sur un nombre entier de pas de fréquence discrète. Il s'agit donc de déterminer avec précision un nouvel écart, dit écart résiduel, τ , afin de déterminer la mesure du temps de vol, cet écart résiduel venant s'ajouter à l'écart duquel la fenêtre d'analyse a été

recentrée précédemment. L'écart résiduel τ se trouve maintenant réduit à moins d'un pas de temps et il ne reste des deux tronçons d'harmoniques dans le signal produit que le premier tronçon, de fréquence très proche de B. L'équation du produit du signal par son filtre adapté se réduit à une harmonique unique, sous forme de la première exponentielle complexe dans :

$$ZZ := \begin{cases} Z_c & -\frac{1}{2} T \leq t \text{ and } t < \frac{1}{2} T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

dans laquelle $Z_c(t)$ est l'harmonique :

$$Z_c(t) = A^2 e^{1\pi B \tau \left(1 + \frac{\tau}{T}\right)} e^{21\pi B \left(1 + \frac{\tau}{T}\right) t}.$$

$Z_c(t)$ peut encore s'écrire comme suit en faisant apparaître une constante, A_p , dans un terme regroupant amplitude et déphasage à l'origine, A_p étant un nombre complexe :

$$Z_c(t) = A_p \cdot e^{21\pi B \left(1 + \frac{\tau}{T}\right) t} \text{ avec } A_p = A^2 e^{1\pi B \tau \left(1 + \frac{\tau}{T}\right)}.$$

La fréquence du pic d'énergie, f_p , suivant s'écrit : $f_p = B \left(1 + \frac{\tau}{T}\right)$ et en substituant dans l'équation précédente, on obtient :

$$Z_c(t) = A_p \cdot e^{21\pi f_p t}.$$

La transformée de Fourier d'une harmonique encadrée dans une fenêtre temporelle rectangulaire est un résultat classique en traitement du signal qui s'écrit dans le domaine des fréquences :

$$f(x) = A_p e^{-1\pi x} \text{sinc}(x)$$

où *sinc* désigne la fonction sinus cardinal, $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x) / \sin(x)$ dans laquelle, x , est la variable réelle normalisée sans dimension décrivant l'indice k de la transformée de Fourier discrète F_k . La variable x exprime l'excursion de fréquence à partir du pic. L'origine des x correspond à la fréquence du pic d'énergie f_p . Le graphe de la figure 13 est celui de la fonction $\text{sinc}(x)$. Les croix sur ce graphe montrent les valeurs entières de x correspondant aux indices de la transformée de Fourier discrète et en particulier les trois valeurs autour du pic : S_j , S_{j-1} et S_{j+1} , correspondant respectivement aux

indices j , $j-1$ et $j+1$. Ainsi, le pic d'énergie étant centré en $x = 0$, l'indice j le plus proche du pic a pour abscisse, $-\delta p$, sachant que : $\delta p = f_p \cdot T - j$.

Quand le pic coïncide exactement avec une fréquence discrète de la transformée de Fourier discrète, la transformée converge en un Dirac correspondant à une raie pure. Dès qu'apparaît un décalage, δp , entre la fréquence du pic et la valeur discrète, j , la plus proche, le phénomène de « fuite spectrale » se manifeste sous la forme des lobes latéraux de la fonction *sinc*. Les lobes latéraux affectent toutes les fréquences discrètes.

La fuite spectrale est avantageusement réduite lorsque la période T du chirp est choisie - et éventuellement précisément ajustée - pour être double ou triple (voire un plus grand multiple) de l'inverse de la fréquence du pic d'énergie de manière à limiter la fuite spectrale du pic. C'est pourquoi, dans le procédé selon ce mode de réalisation, la période du chirp est un multiple supérieur à deux de l'inverse de la fréquence du pic d'énergie.

Il est à noter que ni le recentrage de la fenêtre glissante ni la condition, ci-dessus, conduisant à limiter la fuite spectrale du pic ne sont des conditions nécessaires à la mise en place de la méthode de mesure de l'écart fréquentiel objet de l'invention même si ces deux méthodes sont de nature à sensiblement améliorer la qualité de la mesure.

Disposant de l'équation de l'expression symbolique exacte de la transformée de Fourier du signal produit $ZZ(t)$, des techniques d'analyse mathématique classiques de minimalisation de l'écart entre des valeurs mesurées et une fonction d'interpolation cible, peuvent être mises en œuvre pour calculer les paramètres de la fonction d'interpolation qui minimise cet écart, la minimalisation de l'écart quadratique étant un exemple de ces techniques.

Ainsi, l'étape de détermination de la fréquence de l'une ou l'autre ou des deux harmoniques du signal est configurée pour mettre en œuvre une interpolation portant sur les au moins trois valeurs complexes discrètes successives F_j , F_{j-1} , F_{j+1} de la transformée de Fourier $\{F_k\}$ autour du pic d'énergie. On cherche alors la valeur de l'écart fréquentiel, δp , qui minimise un écart entre ces trois valeurs et les trois valeurs correspondantes de la fonction d'interpolation $f()$. D'autres valeurs discrètes adjacentes au pic

peuvent également être prises en compte dans la minimisation de l'écart entre F_k et f_k .

Une autre méthode de calcul du décalage fréquentiel δp est dérivée en calculant à partir de l'expression symbolique de la fonction d'interpolation $f(x) = Ap e^{-1\pi x} sinc(x)$ les trois valeurs complexes théoriques de la transformée de Fourier autour du pic, à savoir, f_j, f_{j-1}, f_{j+1} , correspondant respectivement aux indices, $j-1, j$ et $j+1$. On démontre la formule suivante qui donne directement la valeur biais fréquentiel :

$$\delta p = \frac{f_{j+1} - f_{j-1}}{2f_j - f_{j+1} - f_{j-1}}$$

Ce résultat est tout à fait remarquable parce qu'il fournit une expression très simple de l'écart fréquentiel qui est très facile à implémenter dans une puce.

Il est à noter que l'écart fréquentiel δp est un réel tandis que la fonction f est une fonction complexe, ce qui revient à conclure que la partie imaginaire de cette expression théorique est nulle.

Ce résultat est d'autant plus remarquable qu'il est la traduction de l'expression symbolique exacte de la fonction d'interpolation dans le cas du signal qui nous intéresse ici, permettant ainsi un calcul très précis de δp à partir des trois valeurs discrètes de la DFT autour du pic dérivées de la mesure du signal, F_j, F_{j-1}, F_{j+1} . Du fait de la présence de bruit et de perturbations dans le signal résultant entre autres des réflexions parasites multiples de l'onde hertzienne qui affectent ces trois valeurs, une partie imaginaire résiduelle subsiste en pratique et il convient de prendre pour l'évaluation de δp soit la partie réelle soit la valeur absolue de cette expression quand on y substitue les valeurs mesurées de la DFT :

$$\delta p = \Re \left(\frac{F_{j+1} - F_{j-1}}{2F_j - F_{j+1} - F_{j-1}} \right) \text{ ou bien, } \delta p = \left| \frac{F_{j+1} - F_{j-1}}{2F_j - F_{j+1} - F_{j-1}} \right|.$$

En pratique, il subsiste dans l'évaluation de cette expression à partir des valeurs de mesure une valeur résiduelle de la partie imaginaire, Res ,

résultant à la fois du bruit de signal se répercutant dans le spectre de fréquence et du biais de mesure introduit par les réflexions parasites multiples dans la propagation de l'onde hertzienne entre émetteur et récepteur. Dans le procédé ici mis en œuvre, une étape pour compenser un

5 biais fréquentiel résultant de réflexions de l'onde radiofréquence du chirp sur son trajet entre les premier et second dispositifs met en œuvre une évaluation du résidu, Res , partie imaginaire de l'expression complexe suivante :

$$Res = \Im \left(\frac{F_{j+1} - F_{j-1}}{2 \cdot F_j - F_{j-1} - F_{j+1}} \right).$$

10 Le temps de vol du signal sur des chemins correspondant à des réflexions de l'onde radiofréquence sur son trajet est plus long, ce qui se traduit par des retards à l'arrivée par rapport au chemin direct. Ces retards à l'arrivée ont tendance à élargir le pic et le déplacer très légèrement, toujours dans le sens d'une exagération de la distance déterminée. Un corollaire de ce

15 phénomène est une augmentation de la valeur du résidu, Res , dépendant de la contribution relative dans le signal reçu des réflexions par rapport au chemin direct. On peut donc empiriquement compenser pour partie l'exagération de la distance déterminée en réduisant la valeur de ce résidu, sur la base d'une évaluation de la valeur relative du résidu par rapport à la

20 puissance du pic et au niveau de bruit dans la transformée de Fourier discrète (DFT, pour l'anglais « Discrete Fourier transform »). Les résultats obtenus ce faisant conduisent à une amélioration très sensible de la précision de la mesure de distance.

25 Dans une troisième partie de la description, il est maintenant décrit un système combinant le système de pistage de biens à l'estime décrit dans la première partie de la description et le procédé de détermination d'une distance entre un premier et un second dispositifs décrit dans la deuxième partie de la description.

30 Cette combinaison avantageuse est réalisée avec un système tel que précédemment décrit dans le mode de réalisation détaillé et dont les moyens de transmission radiofréquence sont chacun agencés pour émettre un chirp linéaire.

Dans cette combinaison, chaque dispositif comprend une unité d'estimation d'un décalage temporel τ du signal reçu agencée pour estimer un décalage temporel entre l'émission d'un chirp linéaire et sa réception par ce dispositif à partir du chirp linéaire reçu.

5 Le décalage temporel est alors comme exposé dans la description du procédé de détermination de distance entre un premier et un second dispositifs décrit dans la deuxième partie de la description.

C'est donc par le triple combinaison du choix d'un chirp linéaire, du filtre adapté correspondant et grâce à la méthode d'évaluation de l'écart
10 fréquentiel développée dans le cadre de l'invention que l'on peut réduire la largeur de bande à quelques centaines, voire dizaines de kilohertz, là où d'autres systèmes font état de largeurs de bande exprimées en gigahertz ou centaines de mégahertz, et grâce à cela atteindre dans les bandes
15 publiques ISM des précisions de quelques mètres pour une portée de l'ordre du kilomètre en zone urbaine et de quelques centaines de mètres à l'intérieur des bâtiments.

Bien entendu, le procédé de détermination d'une distance entre un premier et un second dispositifs décrit dans la deuxième partie de la
20 description pourrait être utilisé dans un système de pistage de biens différent de celui décrit dans la première partie de cette description. En particulier, ce procédé pourrait être utilisé dans un système de pistage de biens ne mettant pas en œuvre de navigation à l'estime, comme cela va maintenant être décrit.

25

Dans une quatrième partie de la description, il est maintenant décrit un système de pistage de biens comprenant :

- un dispositif T d'un premier type, dit tag, attaché à un bien B à pister,
- deux dispositifs d'un deuxième type, dits balises.

30 Le tag T et une balise B_i sont représentés sur la figure 14.

Chaque dispositif est muni de moyens de transmission radiofréquence. Sur la figure est représentée la liaison radiofréquence LTB_i entre le tag T et la balise B_i . Les moyens de transmission radiofréquence sont chacun agencés pour émettre un chirp linéaire, chaque dispositif comprenant une
35 unité d'estimation de décalage temporel agencée pour estimer un décalage

temporel entre l'émission d'un chirp linéaire et sa réception par ce dispositif à partir du chirp linéaire reçu.

Le système de pistage de bien selon le quatrième objet de l'invention comprend :

- 5 – des moyens de détermination de distance agencés pour mettre en œuvre un procédé décrit dans la deuxième partie de cette description pour déterminer les distances séparant l'au moins un tag des au moins deux balises ;
- des moyens d'analyse configurés pour calculer la position relative de l'au
10 moins un tag par triangulation à partir des distances séparant l'au moins un tag des au moins deux balises.

Le système comprend le terminal T. Ce terminal T est muni de moyens de navigation GNSS. Sur la figure 14 sont illustrées les données GNSS et la liaison LGNSS de type GNSS entre les données GNSS et le terminal T. Les
15 moyens d'analyse du système sont en outre configurés pour déterminer une estimation de la localisation géographique du tag T en combinant des coordonnées géographiques instantanées enregistrées par ce terminal T lors de son déplacement avec les mesures de distance correspondantes du tag avec les deux balises.

20 Le terminal T et la balise du système B_i forment un unique appareil A comprenant en un écran de visualisation.

La balise B_i et le terminal T selon comprennent en outre des moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de la balise et/ou du terminal, les moyens d'analyse du système étant en outre
25 configurés pour calculer une évaluation affinée des coordonnées de la balise en combinant des coordonnées géographiques instantanées générées par les moyens de navigation GNSS avec des mesures de mouvement générées par les moyens de captation.

La balise B_i est apte et configurée pour communiquer avec l'autre balise
30 B_j du système. La balise B_j est illustrée sur la figure 15.

Sur la figure 15 sont respectivement notées d_{ki} , d_{kj} et d_{ij} les distances entre le tag T et la balise B_i , le tag T et la balise B_j , les balises B_i et B_j .

Si les positions des balises est B_i et B_j sont connues, il suffit que la balise B_i mesure la distance d_{ki} qui la sépare du tag cible et envoie une requête à
35 la balise voisine B_j afin qu'elle mesure la distance d_{kj} qui la sépare du tag.

La position des deux balises étant connue, tous les éléments sont réunis pour résoudre la triangulation du tag.

Si la position d'une des deux balises n'est pas connue, il suffit de mesurer la distance d_{ij} entre les deux balises concernées pour résoudre la triangulation du tag.

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention. De plus, les différentes caractéristiques, formes, variantes et modes de réalisation de l'invention peuvent être associés les uns avec les autres selon diverses combinaisons dans la mesure où ils ne sont pas incompatibles ou exclusifs les uns des autres.

Revendications

1. Procédé de détermination d'une distance entre un premier et un second dispositifs, chaque dispositif étant muni de moyens de transmission radiofréquence, caractérisé en ce que lesdits moyens de transmission radiofréquence sont configurés pour émettre un chirp linéaire, un chirp linéaire étant un signal périodique de période T modulé linéairement entre une fréquence de début et une fréquence de fin définissant une largeur de bande B autour d'une fréquence porteuse et modulé en amplitude par une enveloppe dont les variations sont lentes par rapport aux oscillations de la phase, ledit procédé comprenant :
- une émission par les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif d'un premier chirp linéaire de période T_1 et de largeur de bande B_1 ,
 - une réception par les moyens de transmission radiofréquence du second dispositif dudit premier chirp linéaire,
 - une première étape d'estimation d'un décalage temporel τ_1 de la réception dudit premier chirp par les moyens de transmission radiofréquence du second dispositif,
 - une émission, après une durée déterminée t_p après la réception dudit premier chirp, d'un second chirp linéaire de période T_2 et de largeur de bande B_2 par le second dispositif,
 - une réception par les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif dudit second chirp linéaire,
 - une seconde étape d'estimation d'un décalage temporel τ_2 de la réception dudit second chirp par les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif,
 - une étape de détermination de la distance d entre le premier et le second dispositif à partir de la formule : $d = c \left(\frac{\tau_2 - t_p}{2} \right)$.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la première et/ou la seconde étape d'estimation du décalage temporel τ de la réception d'un chirp de période T et de largeur de bande B , comprend :

- une étape de numérisation par échantillonnage à intervalles du signal analogique reçu de façon à obtenir un ensemble d'échantillons régulièrement distribués sur la période T du chirp, chaque échantillon étant constitué d'une composante en phase et d'une composante en quadrature de phase avec la fréquence porteuse, déterminant ainsi dans le plan complexe les composantes réelle et imaginaire du signal numérisé,
 - une étape de multiplication du signal numérisé reçu par le filtre adapté correspondant au signal émis, c'est-à-dire le signal dont chaque échantillon est le conjugué complexe de l'échantillon correspondant dans le chirp émis, ordonné dans l'ordre inverse sur l'axe des temps,
 - une étape de détermination de la fréquence de l'une ou l'autre ou de ces deux harmoniques de fréquence F_1 et F_2 ,
 - une étape de détermination du décalage temporel suivant la formule,

$$\tau = T \left(\frac{F_1}{B} - 1 \right) \text{ et/ou } \tau = \frac{TF_2}{B}.$$
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'étape de détermination de la fréquence de l'une ou l'autre ou des deux harmoniques du signal comprend en outre :
- une étape de calcul de la transformation de Fourier discrète $\{F_k\}$ du signal produit dans une fenêtre temporelle d'analyse de durée égale à la période T du chirp,
 - une étape de repérage à l'intérieur du spectre d'amplitude du signal produit de l'indice j correspondant à un des deux pics d'énergie, respectivement relatif à l'une ou l'autre des deux harmoniques dudit signal.
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'étape de détermination de la fréquence de l'une ou l'autre ou des deux harmoniques du signal est configurée pour mettre en œuvre une interpolation portant sur les au moins trois valeurs complexes discrètes successives F_j, F_{j-1}, F_{j+1} de la transformée de Fourier $\{F_k\}$ autour d'un des deux pics d'énergie.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'étape de détermination de la fréquence de l'une ou l'autre ou des deux harmoniques du signal comprend une étape de calcul de l'écart fréquentiel δp de la fréquence du pic d'énergie retenu par rapport à l'indice j le plus proche comprenant une étape de minimalisation d'un écart entre les trois valeurs mesurées, F_j , F_{j-1} , F_{j+1} , et les valeurs correspondantes d'une fonction d'interpolation de la forme :

$$f(x) = Ap e^{-1\pi x} \text{sinc}(x) .$$

10

6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que l'étape de calcul de l'écart fréquentiel δp comprend une évaluation de l'expression suivante :

$$\frac{F_{j+1} - F_{j-1}}{2 \cdot F_j - F_{j+1} - F_{j-1}} .$$

15

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend une étape pour compenser un biais fréquentiel résultant de réflexions de l'onde radiofréquence du chirp sur son trajet entre les premier et second dispositifs en mettant en œuvre une évaluation du résidu imaginaire, Res , partie imaginaire de l'expression complexe suivante :

20

$$Res = \Im \left(\frac{F_{j+1} - F_{j-1}}{2 \cdot F_j - F_{j-1} - F_{j+1}} \right) .$$

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend la réception d'une séquence de chirps et une étape d'analyse de cette séquence à l'intérieur d'une fenêtre temporelle couvrant une période entière de chirp et pouvant glisser d'une période entière de chirp à chaque étape.

25

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend une étape pour recentrer la fenêtre temporelle d'analyse dans le temps de manière à la faire coïncider avec le chirp

30

émis et ainsi concentrer l'énergie dans un seul pic du spectre de fréquence.

- 5 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 9, caractérisé en ce que la période du chirp est un multiple supérieur à deux de l'inverse de la fréquence du pic d'énergie.
- 10 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 10, caractérisé en ce qu'un chirp est constitué d'un ou plusieurs morceaux de chirps linéaires montants ou descendants.
- 15 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 11, caractérisé en ce qu'il est compris une étape d'insertion d'un temps mort prédéterminé entre deux chirps consécutifs dans une séquence de chirps.
- 20 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins une des deux étapes d'estimation du décalage temporel est mise en œuvre pour recaler entre elles les fréquences des horloges internes des premier et deuxième dispositifs, ou au moins tenir compte d'une erreur systématique résultant de l'écart de fréquence entre ces deux horloges.
- 25 14. Procédé de pistage de biens d'au moins un dispositif d'un premier type, dit tag, attaché à un bien à pister, à partir d'un dispositif d'un second type, dit balise, ledit procédé de pistage de biens comprenant :
- 30 – une étape de traitement par le tag pour évaluer un vecteur de déplacement entre deux positions de ce tag, le tag étant muni de moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de ce tag,
- 35 – une étape de détermination des distances entre ces tag et balise pour chacune des deux positions du tag, cette étape de détermination de distances mettant en œuvre le procédé de détermination de la distance entre ces deux dispositifs selon l'une des revendications 1 à 13,

- une étape d’analyse pour calculer la position relative du tag par rapport à la balise par triangulation à partir dudit vecteur de déplacement et des deux distances déterminées entre ce tag et cette balise.

5

15. Procédé de pistage de biens d’au moins un dispositif d’un premier type, dit tag, attaché à un bien à pister, à partir d’au moins deux dispositifs d’un second type, dit balises, ledit procédé de pistages de biens comprenant :

- 10 – une étape de détermination des distances entre le tag et les deux balises, pour chacune des deux positions du tag, cette étape de détermination de distances mettant en œuvre le procédé de détermination des distances entre tags et balises selon l’une des revendications 1 à 13,
- 15 – une étape d’analyse pour calculer la position relative de l’au moins un tag par triangulation à partir des distances séparant l’au moins un tag desdites au moins deux balises.

16. Dispositif de détermination d’une distance entre un premier et un second
- 20 dispositifs, chaque dispositif étant muni de moyens de transmission radiofréquence, caractérisé en ce que lesdits moyens de transmission radiofréquence sont configurés pour émettre un chirp linéaire, un chirp linéaire étant un signal périodique de période T modulé linéairement entre une fréquence de début et une fréquence de fin définissant une
- 25 largeur de bande B autour d’une fréquence porteuse et modulé en amplitude par une enveloppe dont les variations sont lentes par rapport aux oscillations de la phase, ledit dispositif étant caractérisé en ce que :
- les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif sont configurés pour émettre un premier chirp linéaire de période T_1 et de
 - 30 largeur de bande B_1 ;
 - les moyens de transmission radiofréquence du second dispositif sont configurés pour recevoir ledit premier chirp linéaire ;
 - des premiers moyens d’estimation d’un décalage temporel sont configurés pour estimer un décalage temporel τ_1 de la réception dudit

premier chirp par les moyens de transmission radiofréquence du second dispositif ;

- les moyens de transmission radiofréquence du second dispositif sont configurés pour émettre, après une durée déterminée t_p après la réception dudit premier chirp, un second chirp linéaire de période T_2 et de largeur de bande B_2 ;
- les moyens transmission radiofréquence du premier dispositif sont configurés pour recevoir ledit second chirp linéaire ;
- des seconds moyens d'estimation d'un décalage temporel sont configurés pour estimer un décalage temporel τ_2 de la réception dudit second chirp par les moyens de transmission radiofréquence du premier dispositif ;
- des moyens de détermination de distance sont configurés pour déterminer la distance d entre le premier et le second dispositif à partir de la formule : $d = c \left(\frac{\tau_2 - t_p}{2} \right)$.

17. Système de pistage de biens comprenant :

- au moins un dispositif d'un premier type, dit tag, attaché à un bien à pister, le tag étant muni de moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de ce tag ainsi que de moyens de traitement pour évaluer un vecteur de déplacement entre deux positions de ce tag ;
 - au moins un dispositif d'un second type, dit balise ;
- chaque dispositif étant muni de moyens de transmission radiofréquence, les moyens de transmission radiofréquence étant chacun agencés pour émettre un chirp linéaire, un chirp linéaire étant un signal périodique de période T modulé linéairement entre une fréquence de début et une fréquence de fin définissant une largeur de bande B autour d'une fréquence porteuse et modulé en amplitude par une enveloppe dont les variations sont lentes par rapport aux oscillations de la phase, chaque dispositif comprenant une unité d'estimation de décalage temporel agencée pour estimer un décalage temporel entre l'émission d'un chirp linéaire par l'autre dispositif et sa réception par ce dispositif, ledit système comprenant en outre :

- des moyens de détermination de la distance entre ces deux dispositifs à partir de signaux radiofréquences échangés entre ces deux dispositifs ;
- un dispositif de détermination de distance selon la revendication 16 configuré pour déterminer la distance entre l'au moins une balise et le tag dans chacune des positions du tag ;
- des moyens d'analyse configurés pour calculer la position relative du tag par rapport à la balise par triangulation à partir dudit vecteur de déplacement et des deux distances déterminées.

10

18. Système selon la revendication 17, caractérisé en ce que l'au moins une balise est opérable en mobilité et en ce que cette balise est munie de moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de la balise ainsi que de moyens traitement pour évaluer le vecteur déplacement de cette balise entre deux instants considérés, ledit système comprenant en outre des seconds moyens d'analyse configurés pour calculer la position de l'au moins un tag par rapport à cette balise en combinant d'une part deux distances entre ce tag et cette balise déterminées en chacun des deux instants considérés et, d'autre part, les vecteurs déplacements respectifs de ce tag et de cette balise entre ces deux instants considérés.

15

20

19. Système selon la revendication 17 ou 18, caractérisé en ce que l'au moins une balise est opérable en mobilité et est agencée pour accéder à des données de localisation géographique générées par des moyens de localisation GNSS agencés pour générer lesdites données géographiques, lesdits moyens de localisation GNSS étant intégrés à la balise ou à un terminal mobile placé sensiblement au même endroit que ladite au moins une balise, les moyens d'analyse étant configurés pour calculer la position géographique du tag par triangulation portant en outre sur les coordonnées géographiques de la balise dans ces deux positions.

25

30

20. Système selon l'une quelconque des revendications 17 à 19, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un terminal distant, ce terminal distant comprenant des moyens de communication, l'au moins une balise

35

comprenant des moyens de communication configurés pour communiquer avec les moyens de communication dudit terminal distant.

21. Système de pistage de biens comprenant :

- 5 – au moins un dispositif d'un premier type, dit tag, attaché à un bien à pister ;
- au moins deux dispositifs d'un deuxième type, dits balises, chaque dispositif étant muni de moyens de transmission radiofréquence, les moyens de transmission radiofréquence étant
- 10 chacun agencés pour émettre un chirp linéaire, un chirp linéaire étant un signal périodique de période T modulé linéairement entre une fréquence de début et une fréquence de fin définissant une
- largeur de bande B autour d'une fréquence porteuse et modulé en amplitude par une enveloppe dont les variations sont lentes par
- 15 rapport aux oscillations de la phase, chaque dispositif comprenant une unité d'estimation de décalage temporel agencée pour estimer un décalage temporel entre l'émission d'un chirp linéaire et sa
- réception par ce dispositif à partir du chirp linéaire reçu ;
- caractérisé en ce qu'il comprend
- 20 – des moyens de détermination de la distance séparant le tag et les deux balises à partir de signaux radiofréquences échangés entre ces deux dispositifs ;
- un dispositif de détermination de distance selon la revendication 16 configuré pour déterminer la distance entre l'au moins une balise et
- 25 le tag dans chacune des positions du tag ;
- des moyens d'analyse configurés pour calculer la position relative du tag par rapport à la balise par triangulation à partir des distances séparant l'au moins un tag par triangulation à partir des distances séparant l'au moins un tag desdites au moins deux balises.

30

22. Système suivant la revendication 21, caractérisé en ce qu'au moins une des balises est munie de moyens de raccordement à un réseau local, lesdits moyens de raccordement pouvant être filaires ou sans fil et aptes à transmettre des données.

35

23. Système selon l'une quelconque des revendications 21 à 22, caractérisé en ce que qu'il comprend au moins un terminal et en ce que l'au moins un terminal est placé sensiblement au même endroit qu'au moins une des balises, ladite balise et ledit terminal étant opérables conjointement en mobilité, ledit terminal étant muni de moyens de navigation GNSS et les moyens d'analyse dudit système étant en outre configurés pour déterminer une estimation de la localisation géographique d'au moins un tag en combinant des coordonnées géographiques instantanées enregistrées par ledit au moins un terminal lors de son déplacement avec les mesures de distance correspondantes du tag avec lesdites au moins deux balises.

24. Système suivant la revendication 23, caractérisé en ce que la balise et/ou ledit terminal comprend en outre des moyens de captation d'au moins une grandeur physique relative au mouvement de ladite balise et/ou dudit terminal, les moyens d'analyse dudit système étant en outre configurés pour calculer une évaluation affinée des coordonnées de la balise en combinant des coordonnées géographiques instantanées générées par les moyens de navigation GNSS avec des mesures de mouvement générées par lesdits moyens de captation.

25. Système selon la revendication 23 ou 24, caractérisé en ce que l'au moins un terminal et l'au moins une balise forment un unique appareil comprenant en outre un écran de visualisation.

26. Système selon l'une quelconque des revendications 21 à 25, caractérisé en ce qu'au moins une balise des au moins deux balises est apte et configurée pour communiquer avec au moins une autre balise des au moins deux balises.

27. Système selon la revendication 26, caractérisé en ce que :

- des moyens de communication d'une première balise sont configurés pour émettre une requête à destination d'une deuxième balise ;
- des moyens de communication de la deuxième balise sont configurés pour déterminer la distance séparant cette deuxième balise de l'au

moins un tag à réception de ladite requête, ces moyens de communication étant en outre configurés pour émettre une information relative à cette distance à destination de ladite première balise ;

- 5 – les moyens de communication de ladite première balise sont configurés pour calculer par triangulation une estimation de la position dudit au moins un tag à partir de la position connue de chacune des deux balises et de la distance séparant chacune des deux balises dudit tag.

10

28. Système selon la revendication 26, caractérisé en ce qu'au moins une balise comprend des moyens pour mesurer la distance séparant ladite balise d'au moins une seconde balise,

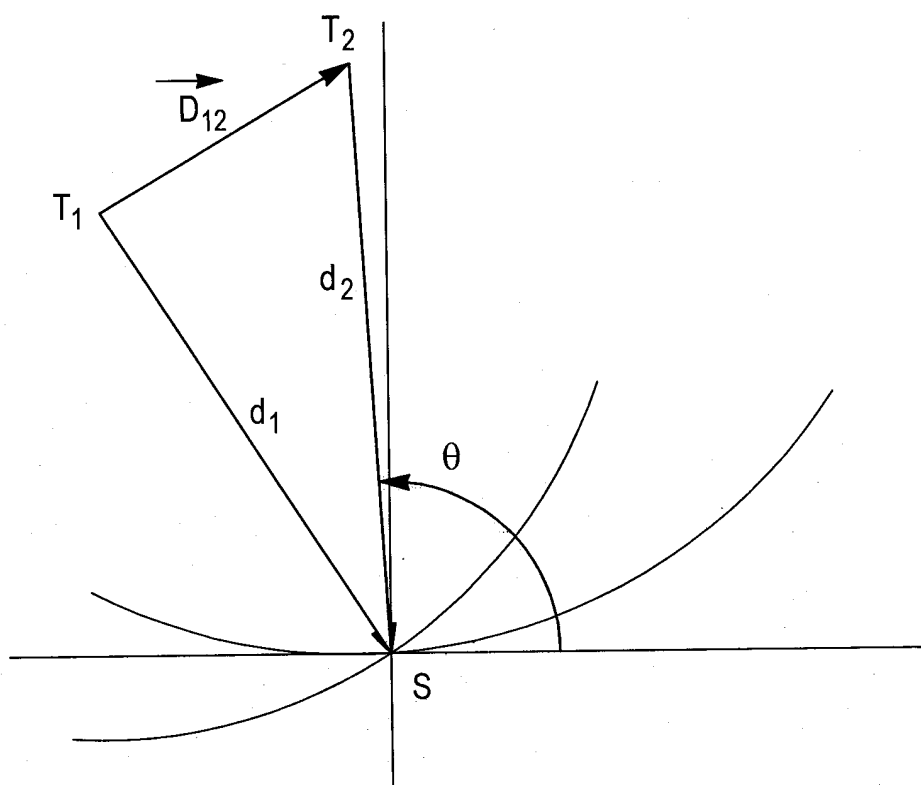
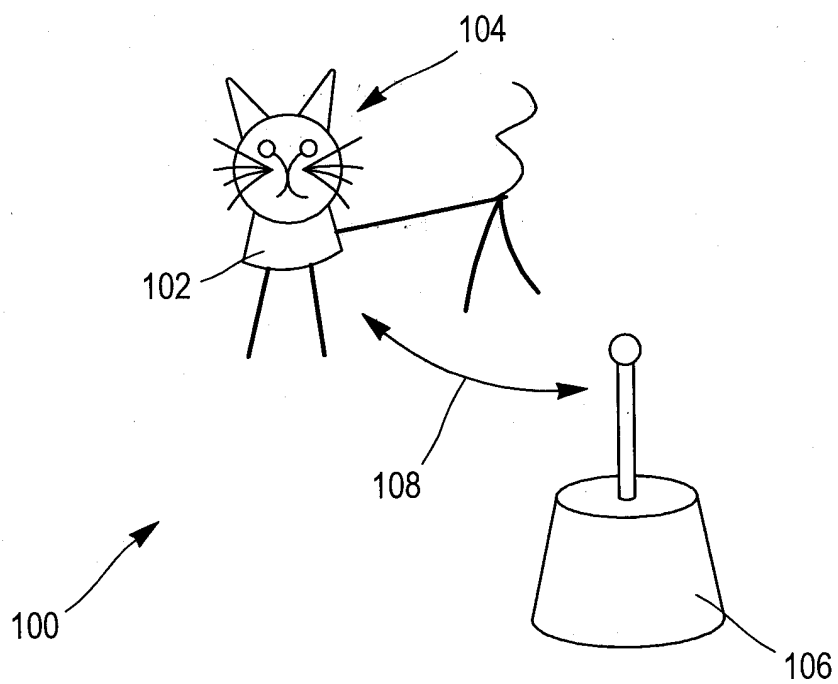
- 15 – les moyens de communication de ladite première balise sont configurés pour émettre une requête à destination d'une deuxième balise ;

- 20 – les moyens de communication de la deuxième balise sont configurés pour déterminer la distance séparant cette deuxième balise de l'au moins un tag à réception de ladite requête, ces moyens de communication étant en outre configurés pour émettre une information relative à cette distance à destination de ladite première balise ;

- 25 – les moyens de communication de ladite première balise sont configurés pour calculer par triangulation une estimation de la position dudit au moins un tag à partir de la position connue de chacune des deux balises et de la distance séparant chacune des deux balises dudit tag ;

30 ladite première balise comprenant des moyens pour calculer par triangulation une estimation de la position dudit au moins un tag par rapport à ladite balise à partir des mesures de la distance séparant les deux balises et de la distance séparant chacune des deux balises dudit tag.

1 / 8



2/8

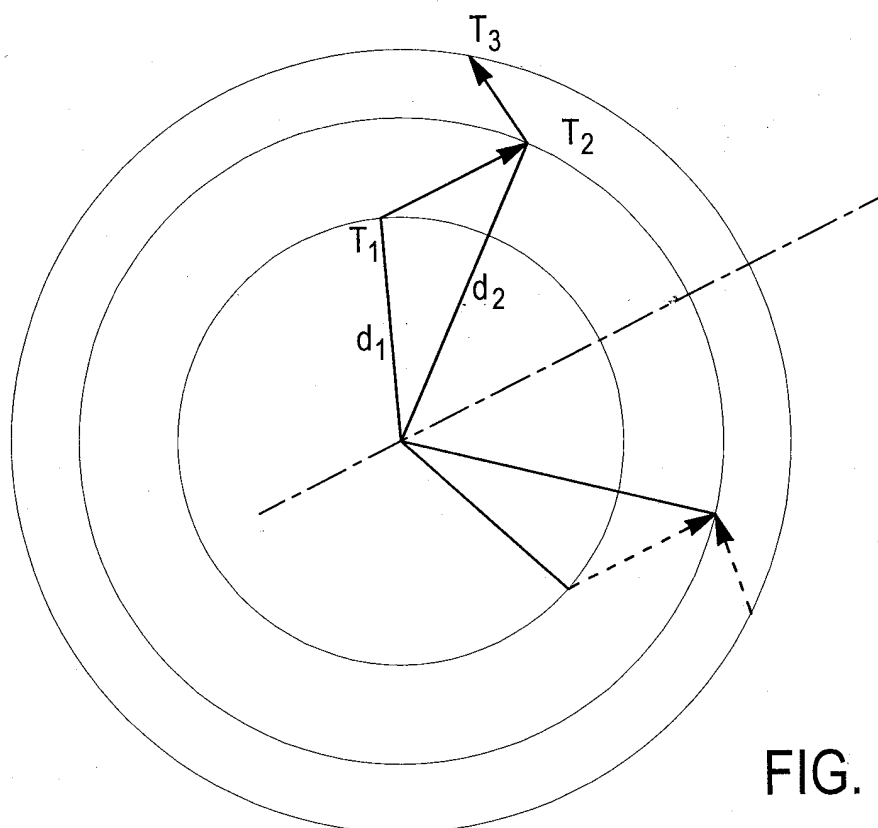


FIG. 3

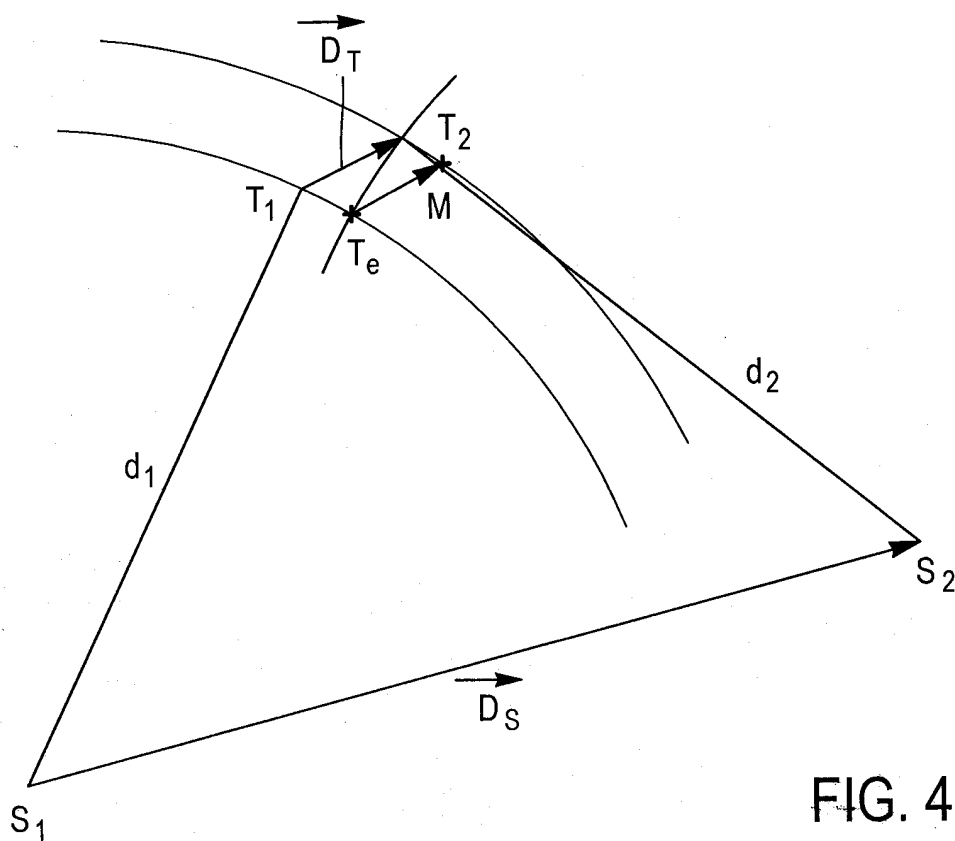


FIG. 4

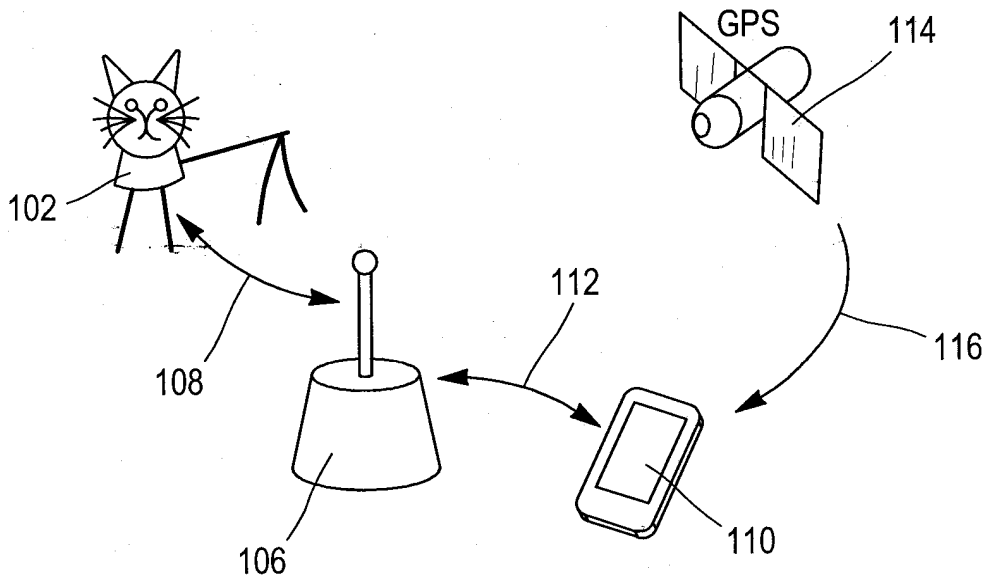


FIG. 5

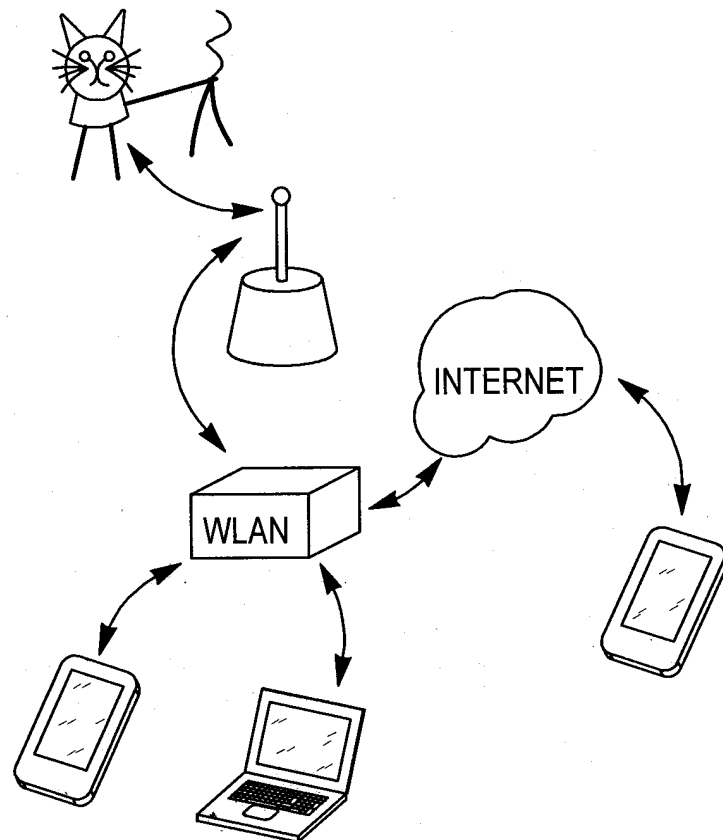


FIG. 6

4 / 8

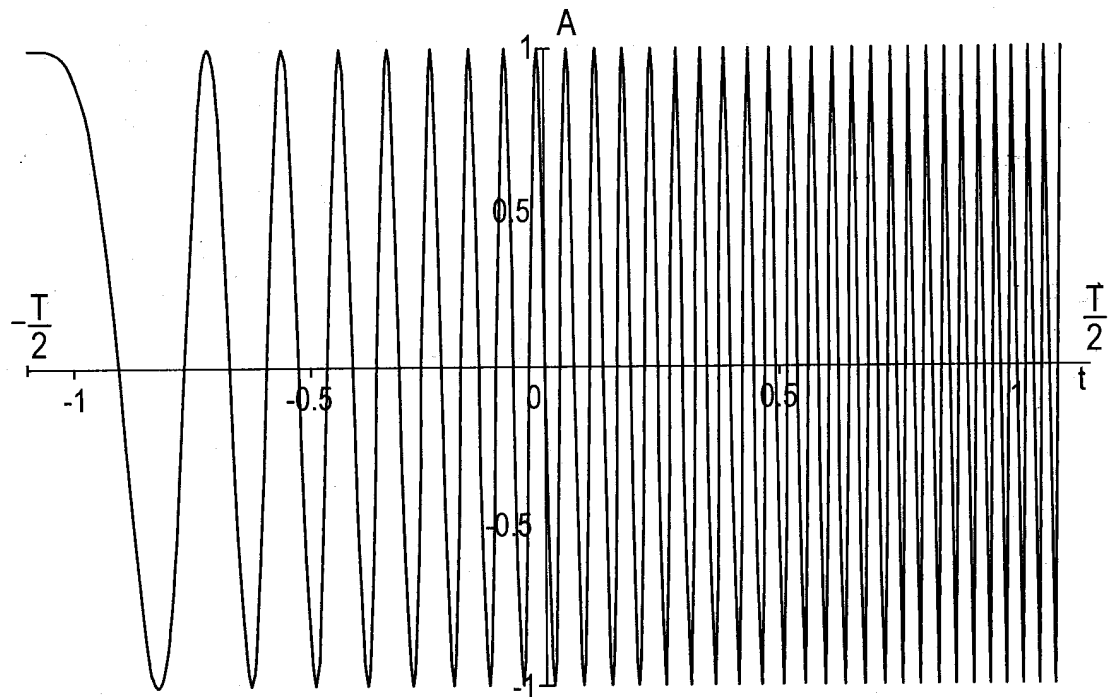


FIG. 7

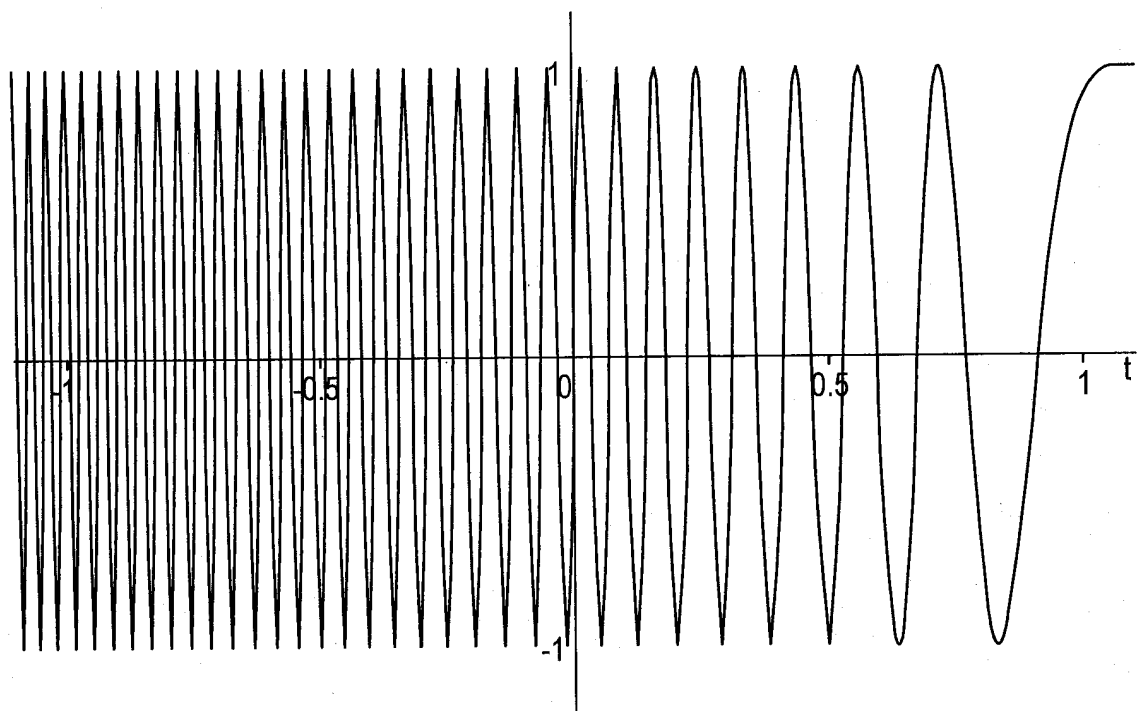


FIG. 8

5/8

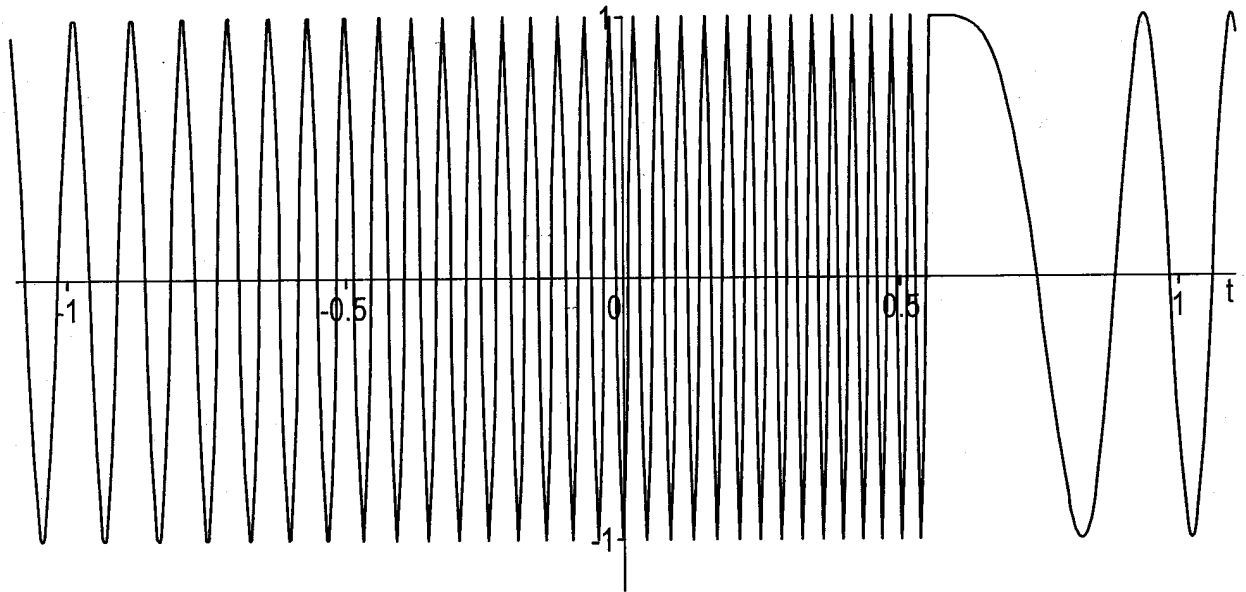


FIG. 9

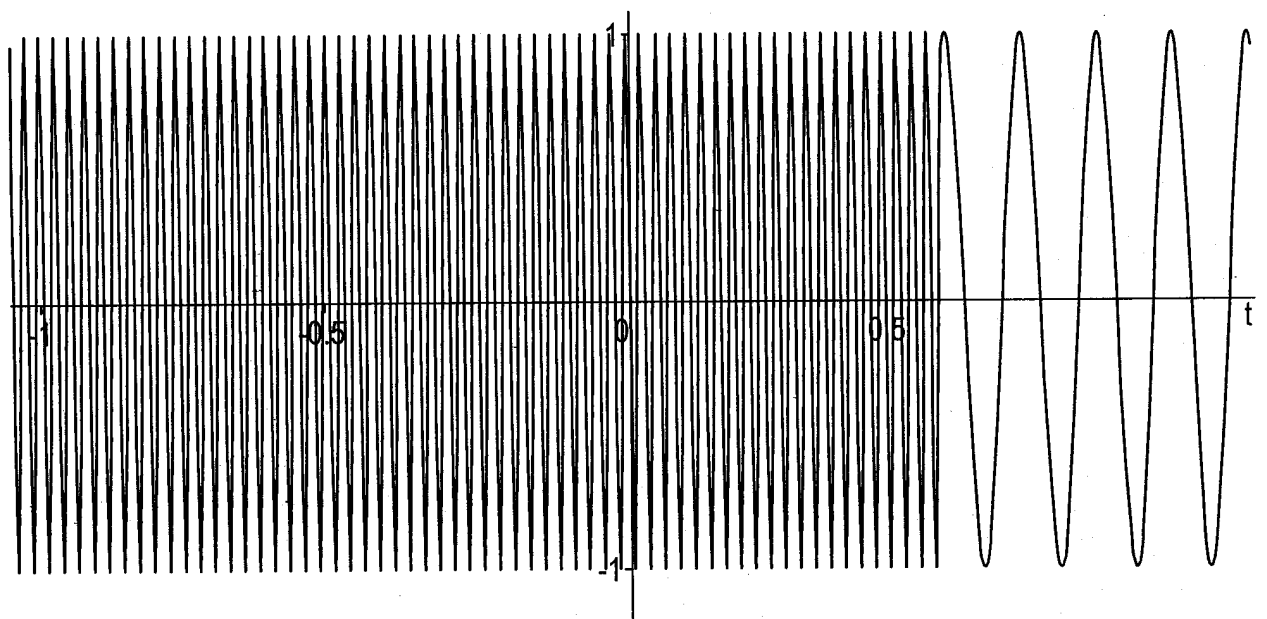


FIG. 10

6 / 8

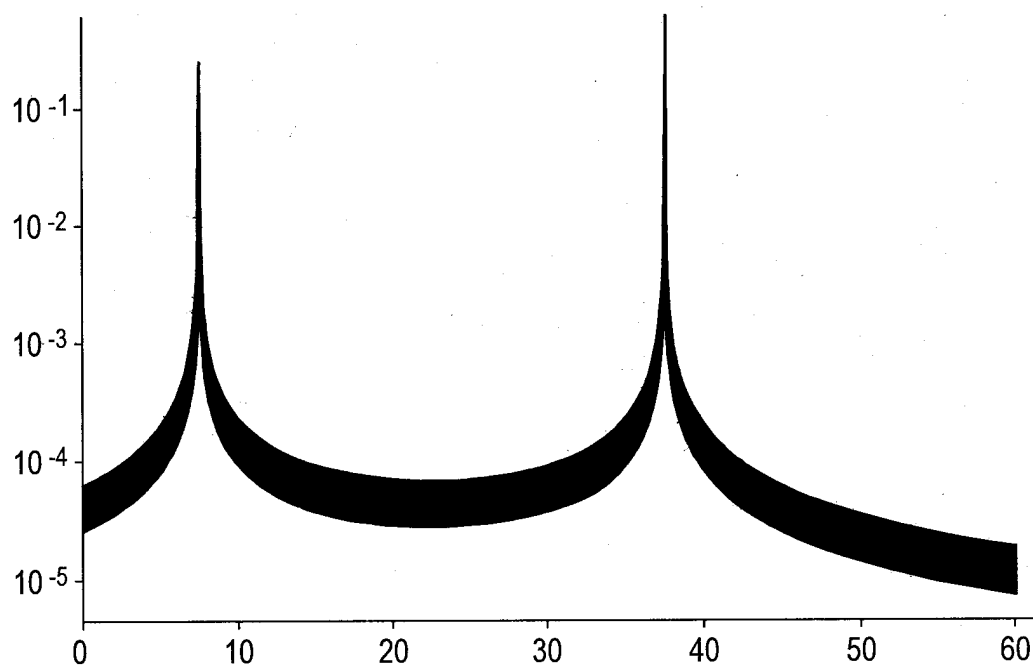


FIG. 11

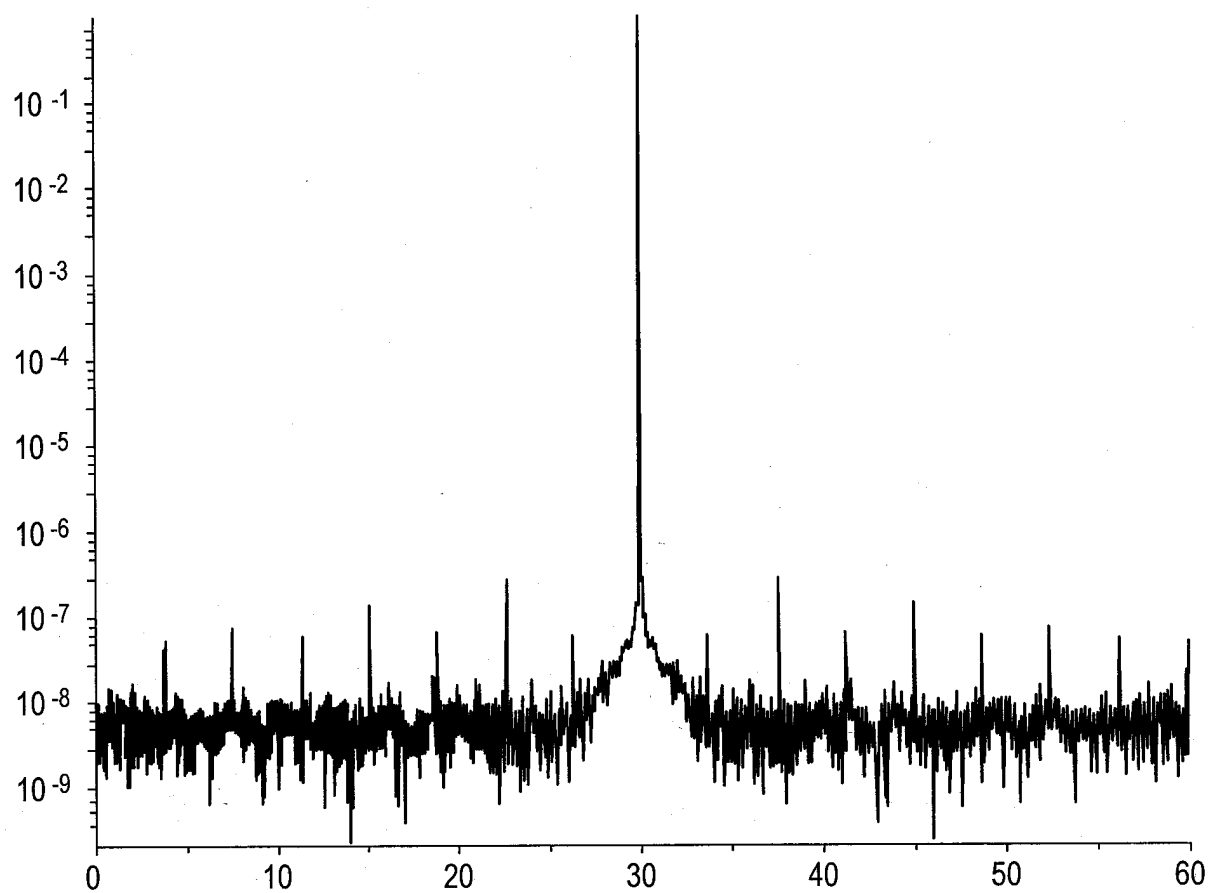


FIG. 12

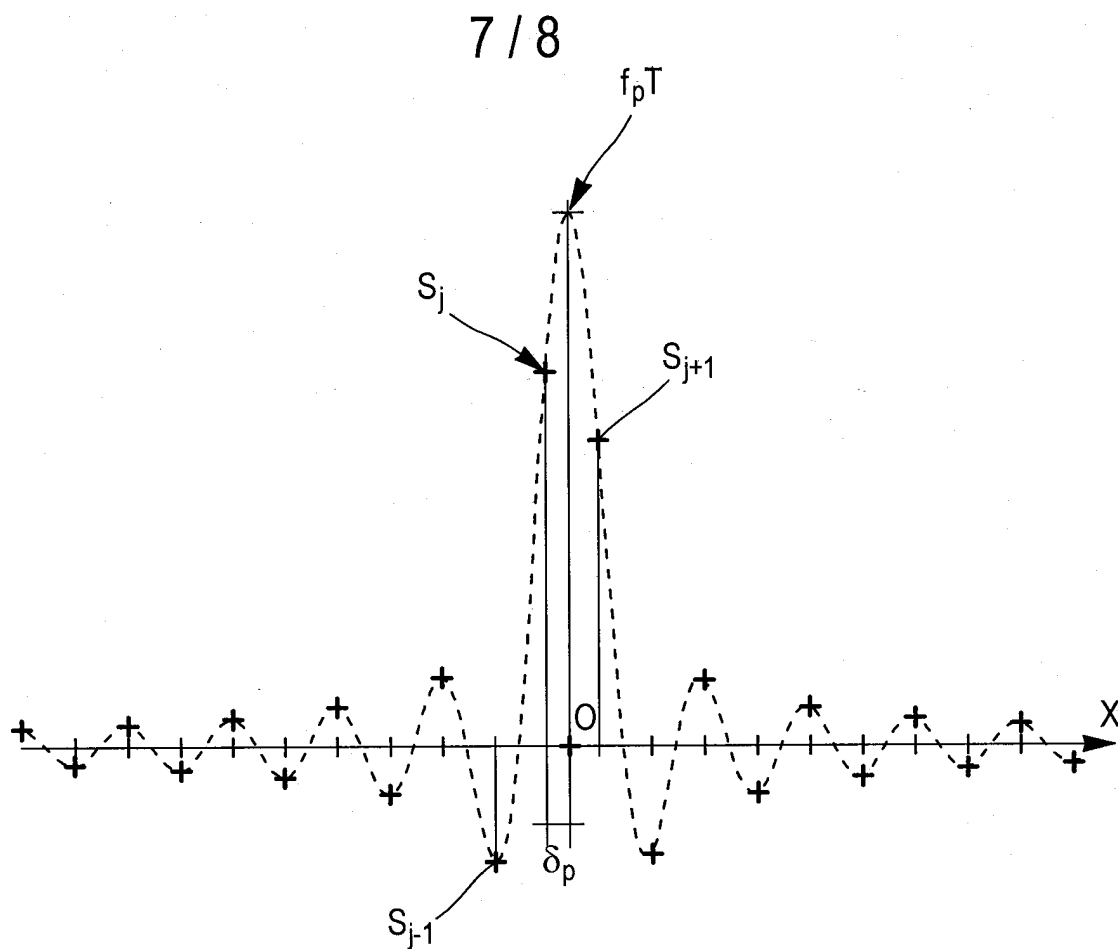


FIG. 13

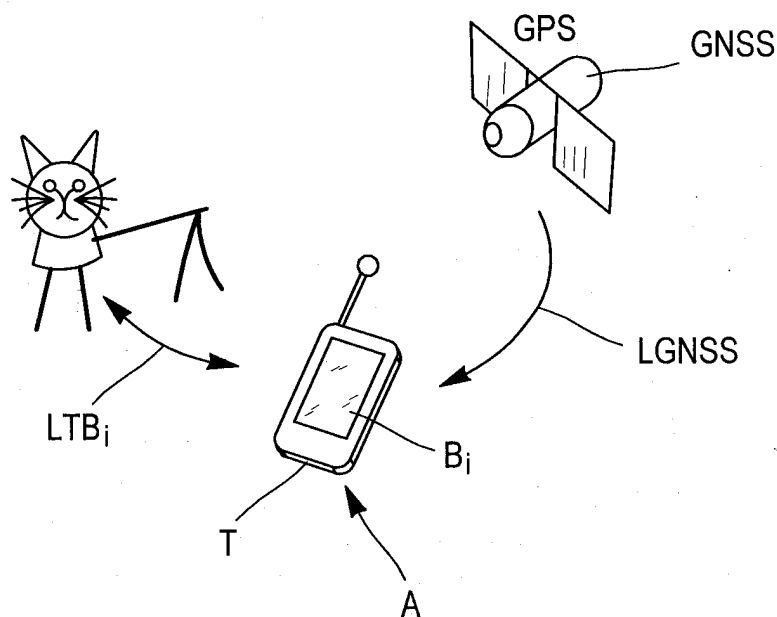


FIG. 14

8 / 8

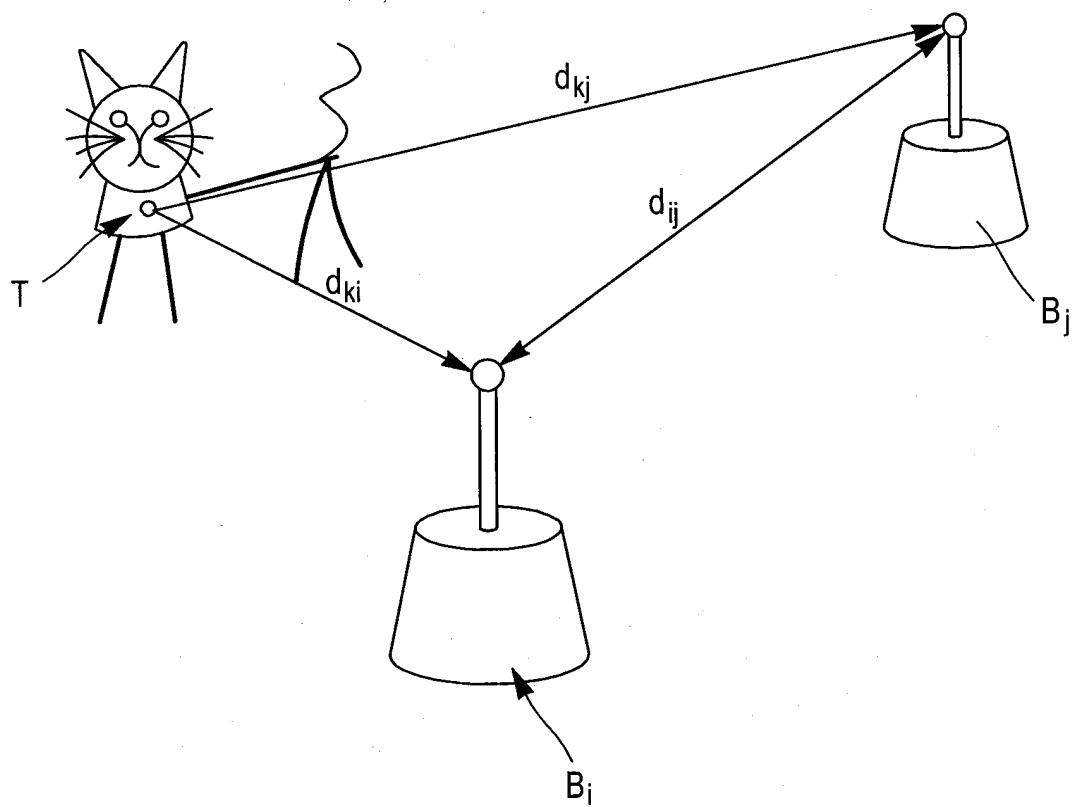


FIG. 15



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 800428
FR 1455198

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2012/300814 A1 (SCHAFFNER TERRY M [US]) 29 novembre 2012 (2012-11-29)	1-17	G01S5/02 H04W4/02 A01K11/00
Y	* alinéas [0029] - [0052]; revendications 1,2,4,5; figures 1,2, 4-9 *	18-28	
Y	WO 2012/044524 A1 (SYMBOL TECHNOLOGIES INC [US]; HARISCHANDRA CHANDRASHEKHARA [IN]; KOCH) 5 avril 2012 (2012-04-05) * pages 9-11; figures 1,2,4,7 *	18-28	
A	SIKORA A ET AL: "Fields Tests for Ranging and Localization with Time-of-Flight-Measurements Using Chirp Spread Spectrum RF-devices", INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGY CONFERENCE PROCEEDINGS, 2007 IEEE, IEEE, PI, 1 mai 2007 (2007-05-01), pages 1-6, XP031182650, DOI: 10.1109/IMTC.2007.379151 ISBN: 978-1-4244-0588-6 * le document en entier *	1	
A	US 2010/149040 A1 (RUELKE CHARLES R [US] ET AL) 17 juin 2010 (2010-06-17) * le document en entier *	1	
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)	
		G01S	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
5 mars 2015		Kern, Olivier	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1455198 FA 800428**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **05-03-2015**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2012300814 A1	29-11-2012	AUCUN	

WO 2012044524 A1	05-04-2012	AUCUN	

US 2010149040 A1	17-06-2010	US 2010149040 A1	17-06-2010
		WO 2010074950 A2	01-07-2010
