

(19)



(11)

**EP 3 123 195 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**28.04.2021 Bulletin 2021/17**

(51) Int Cl.:  
**G01S 5/02 (2010.01) G08B 21/02 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **15711763.1**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/EP2015/056221**

(22) Date de dépôt: **24.03.2015**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2015/144684 (01.10.2015 Gazette 2015/39)**

(54) **SYSTEME DE PROTECTION DE PERSONNES SUR CHANTIER PAR LOCALISATION PRECISE**

SYSTEM ZUM SCHUTZ VON PERSONEN AN EINEM ARBEITSORT DURCH GENAUE  
POSITIONIERUNG

SYSTEM FOR PROTECTING PEOPLE ON A WORKSITE THROUGH PRECISE POSITIONING

(84) Etats contractants désignés:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(74) Mandataire: **Pronovem  
Office Van Malderen  
Parc d'affaires Zénobe Gramme- bâtiment K  
Square des Conduites d'Eau 1-2  
4020 Liège (BE)**

(30) Priorité: **25.03.2014 BE 201400201**

(43) Date de publication de la demande:  
**01.02.2017 Bulletin 2017/05**

(56) Documents cités:  
**EP-A1- 1 821 116 US-A1- 2003 179 140  
US-A1- 2013 180 469 US-A1- 2013 324 150**

(73) Titulaire: **BorderSystem SPRL  
4052 Beaufays (BE)**

• **LANGENDOEN K ET AL: "Distributed localization  
in wireless sensor networks: a quantitative  
comparison", COMPUTER NETWORKS,  
ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 43, no. 4, 15  
November 2003 (2003-11-15), pages 499-518,  
XP004460983, ISSN: 1389-1286, DOI:  
10.1016/S1389-1286(03)00356-6**

(72) Inventeurs:  
• **ROLAND, Ghislain  
B-4052 Beaufays (BE)**  
• **FREBEL, Fabrice  
B-4020 Wandre (BE)**

**EP 3 123 195 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

**Description****Objet de l'invention**

5 **[0001]** La présente invention se rapporte à un système de protection collective ou individuelle de la personne humaine dans des lieux où des dispositions visant à la sécurité des personnes, en particulier à la prévention des chutes des travailleurs, sont requises. L'utilisation du système peut ainsi s'étendre à la protection de tout être humain confronté à des zones dangereuses comme par exemple la protection de piétons contre les collisions avec des engins de génie civil, de chantier ou par rapport à tout autre véhicule confronté par exemple à un danger de chute, de retournement  
10 dans des zones dangereuses ou aux abords de celles-ci.

**Etat de la technique**

15 **[0002]** L'état de l'art est décrit ci-après dans une série de documents, sans que cet état de l'art soit considéré comme exhaustif.

**[0003]** GB200816469 décrit une protection de processus industriel par autorisation sélective d'accès en fonction de la position et de l'identité du porteur d'un communicateur portable (tag électronique). La position de l'utilisateur peut être déterminée par RTLS.

20 **[0004]** CA2709171 décrit une protection de travailleur sur les voies ferrées basée sur la détection du travailleur portant un « tag », un système central déterminant la position du travailleur par rapport au train qui approche et l'avertissant dès qu'il ne lui reste que peu de temps pour se mettre à l'abri. Les bornes qui jonchent le parcours du train sont par exemple connectées entre elles à l'aide de fils.

25 **[0005]** US200810099 décrit un système de protection de personnes par détermination de leur position vis-à-vis de processus industriels. Ces processus ne peuvent en aucun cas démarrer si une zone n'a pas préalablement été évacuée par exemple. Le problème posé est très similaire à celui de GB200816469.

**[0006]** CN102768352 et CN202770989U décrivent un système de protection minière (souterraine) basé sur une localisation conjointe en UWB et ultrason, nécessitée par un nombre d'échos important.

30 **[0007]** EP2226646 décrit un système de localisation « relatif » ou « mobile ». Le système comporte des modules émetteurs/récepteurs sans fil connectés à un réseau sans fil. Parmi ceux-ci figure un « anchor » central de position connue dans l'espace considéré et faisant office de station de base, les autres modules ayant une position à déterminer par rapport à cette station de base. Néanmoins, aucun moyen n'est avancé pour définir une frontière délimitant une zone dangereuse.

**[0008]** DE202008005467 décrit un système de localisation de personnes dans un tunnel à partir d'ancors sous forme d'émetteurs/récepteurs sans fil dont la position est connue.

35 **[0009]** CN101571406 décrit un système de localisation d'animaux de compagnie.

**[0010]** IT2004BA0059 décrit un système de localisation de personnes ou d'animaux qui transmet la position de proche en proche au travers d'un réseau d'émetteurs/récepteurs fixes et qui ont connaissance de leur position absolue.

40 **[0011]** US2003122666 décrit un système de mesure de position par triangulation en jouant sur la phase des signaux reçus. L'invention décrit une méthode de positionnement nécessitant des ancors dont les positions et les orientations sont connues.

**[0012]** WO200398528 décrit une méthode de mesure de distance entre deux objets munis de tags RF.

**[0013]** US20030052776 décrit une méthode de mesure de distance entre deux objets basée sur l'UWB.

**[0014]** BR9000368U décrit un système de localisation par bracelet avec lecture à distance et automatique.

**[0015]** EP2282106 décrit un système de localisation de travailleurs dans une zone par scanning laser.

45 **[0016]** KR101258905 décrit un système de protection de travailleurs présentant uniquement deux tags RTLS (position d'une grue et position d'un travailleur) et un point d'accès connecté à un serveur.

**[0017]** KR20110017707 décrit un système de localisation dans un tunnel à partir de bornes fixes (similaire à CA2709171).

50 **[0018]** CA2768054 décrit un système complexe de localisation utilisant la méthode de puissance reçue dans un bâtiment. Le système nécessite une phase de calibration mais vérifie lui-même s'il y a suffisamment d'ancors. Le système a besoin qu'on lui décrive la topologie du bâtiment, les points d'accès, etc.

**[0019]** US2010017126 décrit un système de localisation, visiblement GPS ou SPS satellite, dans lequel une zone, visiblement circulaire, est définie par rapport à un premier objet localisé. Ensuite une série d'alertes sont données si d'autres objets s'approchent de ce premier objet.

55 **[0020]** JP2009020847 décrit un système de prévention des accidents de personnes âgées ou handicapées utilisant des ancors placés à l'intérieur d'une habitation. Chaque balise reçoit une puissance d'un signal émis par un tag, ce qui permet de déterminer si un tag est près d'un anchor et de donner une alerte si nécessaire. La communication se fait par le réseau électrique (comme une ligne d'alimentation de lampes par exemple).

**[0021]** WO2006085280 décrit un système de suivi d'animaux sur de grandes étendues basé sur GPS et utilisant des relais.

**[0022]** US2004087314 décrit un système de localisation d'un tag par rapport à un seul anchor en utilisant des mesures de distance et d'angle. Beaucoup d'idées générales sont citées dans ce document comme par exemple l'utilisation d'un écran tactile mais peu de détails sont donnés sur la façon de réaliser le système ou de gérer les obstacles. La précision souhaitée n'est pas mentionnée non plus.

**[0023]** US 2013/0180469 décrit un système de clôture sans fil personnalisé destiné à confiner un ou plusieurs chiens dans une zone de confinement définie par l'utilisateur, sans la nécessité d'avoir une clôture physique ou un câble souterrain. Le système, qui est facile à configurer et à utiliser, comprend au moins trois bornes de référence, dont une borne centrale maître et au moins deux bornes esclaves, au moins un collier et, de préférence, une télécommande. Tous ces éléments communiquent entre eux de manière bidirectionnelle. Un système de référence est configuré par la borne centrale, dans lequel sont affectées les coordonnées de toutes les bornes de référence.

**[0024]** US 2003/0179140 divulgue une clôture électronique pour animaux de compagnie possédant plusieurs émetteurs-récepteurs fixes et un émetteur-récepteur de collier mobile, attaché à l'animal. L'emplacement des limites et zones interdites est déterminé en mode d'apprentissage et stocké dans la mémoire. Une logique de détermination répond à des signaux échangés entre les émetteurs-récepteurs fixes et l'émetteur-récepteur de collier en mode de fonctionnement pour déterminer si l'animal se trouve dans les limites définies.

**[0025]** US 2013/0324150 divulgue un dispositif et une méthode d'estimation de position. L'appareil d'estimation de position comprend une unité de mise en place d'un système de coordonnées basé sur des informations de localisation. Une unité de sélection sélectionne un nœud cible, dont l'emplacement est à estimer, sur la base des informations de connexion entre des nœuds reçues d'une pluralité de nœuds constituant un réseau. Une unité d'estimation estime les informations de localisation du nœud cible en fonction d'une relation de connexion entre le nœud cible et des nœuds de référence, dont on connaît les informations de localisation. En particulier, lorsqu'il y a deux nœuds de référence, les informations de localisation du nœud cible sont basées sur la comparaison entre la somme des distances entre le nœud cible et chaque nœud de référence et la distance entre les deux nœuds de référence.

### **Buts de l'invention**

**[0026]** La présente invention vise à protéger spécifiquement les mineurs, les foreurs, les conducteurs d'engins, les travailleurs présents ainsi que les visiteurs occasionnels dans les carrières à ciel ouvert, les mines, les chantiers avec activités de minage ou non, les chantiers de démolition avec explosifs ou non et les zones de déminage.

**[0027]** En particulier, l'invention vise à apporter une solution qui ne nécessite plus l'encodage manuel de la localisation des bornes de référence et qui permet le traçage simple et efficace d'une frontière.

**[0028]** Enfin, l'invention a pour but l'obtention d'une solution basée sur la collaboration des personnes.

### **Principaux éléments caractéristiques de l'invention**

**[0029]** Un premier aspect de la présente invention se rapporte à un système de protection individuelle ou collective de personnes se trouvant dans une zone potentiellement dangereuse, comprenant les caractéristiques de la revendication 5.

**[0030]** Selon des formes d'exécution préférées, le système de l'invention comprend au moins une, ou le cas échéant une combinaison appropriée, des caractéristiques additionnelles suivantes :

- l'unité automatisée d'établissement du repère de référence XY est configurée pour :

positionner le premier anchor, de préférence la borne centrale, à l'origine des axes (0, 0) ;  
positionner le second anchor en (d, 0), où d est la distance mesurée entre les deux anchors précités ;  
déterminer arbitrairement la position du troisième anchor à partir des positions du premier anchor et du second anchor ainsi que des distances respectives entre le troisième anchor et le premier anchor et entre le troisième anchor et le second anchor ;

- la borne centrale est placée dans une valise munie d'un contrôleur et de moyens d'entrées/sorties comportant des boutons-poussoirs et un écran, de préférence un écran tactile ;
- les bornes de référence et la borne centrale sont équipées de transmetteurs radio UWB et/ou de transducteurs ultrasoniques ;
- les moyens d'avertissement sont des moyens lumineux, acoustiques et/ou vibratoires.

**[0031]** Un deuxième aspect de l'invention se rapporte à un procédé de mise en œuvre du système précité de protection

individuelle ou collective de personnes dans une zone potentiellement dangereuse, caractérisé par au moins les étapes définies selon la revendication 1.

**[0032]** Selon des formes d'exécution préférées, le procédé de l'invention comprend au moins une, ou le cas échéant une combinaison appropriée, des caractéristiques additionnelles suivantes :

- la frontière de la zone rouge est déterminée :

soit en utilisant une localisation des bornes de référence dans le repère XY affichée sur un écran tactile associé à la borne centrale et en traçant ladite frontière sur l'écran tactile sous forme du polygone précité ;  
soit en utilisant un appareil appelé traceur qui communique avec la borne centrale et les bornes de référence, la borne centrale interrogeant périodiquement le traceur lorsqu'il est déplacé dans la zone et lui demandant les distances respectives le séparant des bornes de référence, ce qui permet à la borne centrale de déterminer les positions successives du traceur dans le repère XY et de créer la frontière en joignant ces positions par des segments de droite pour créer le polygone précité ;  
soit par localisation géométrique en partant des positions d'une pluralité de bornes de référence dans le repère XY et en appliquant une homothétie pour définir une frontière qui englobe le polygone réalisé par les bornes de référence ;

- la frontière de la zone orange est déterminée à partir de la frontière de la zone rouge en créant un polygone intérieur par homothétie, la distance correspondante au retrait étant comprise entre 50 cm et 1 m ;
- le repère XY est établi de la manière suivante par la borne centrale :

un premier anchor, de préférence la borne centrale, est assigné arbitrairement à la coordonnée (0, 0) ;  
un deuxième anchor se trouvant à une distance mesurée  $d$  est assigné à la coordonnée ( $d$ , 0) ;  
un troisième anchor est localisé à partir des deux anchors précités en utilisant l'intersection de deux cercles à partir des distances respectives du troisième anchor par rapport aux deux anchors précités, une des deux intersections possibles étant choisie comme position du troisième anchor, la position retenue étant déterminée arbitrairement, par exemple la position de coordonnée  $Y$  positive ;  
les anchors suivants sont localisées à partir des trois premiers anchors en utilisant un algorithme de trilatération, l'algorithme de trilatération étant de préférence l'algorithme décrit ci-dessous pour localiser les tags ;  
- l'on détermine si le tag se trouve à l'intérieur, respectivement à l'extérieur, du polygone constituant la frontière fermée en traçant une droite horizontale passant par le tag et en vérifiant le nombre de fois que cette droite coupe la frontière à droite du tag, le tag se trouvant à l'intérieur de la frontière si le nombre d'intersections est impair, le tag se trouvant à l'extérieur de la frontière si le nombre d'intersections est pair ;  
- le filtrage de la frontière fermée de la zone potentiellement dangereuse est réalisé, dont les sommets du polygone sont notés ( $x_0$ ,  $y_0$ ), ( $x_1$ ,  $y_1$ ), etc., selon les étapes suivantes :

sélectionner un point ( $x_i$ ,  $y_i$ ),  $i = 0, 1, 2, \dots$  ;  
sélectionner l'ensemble des points ( $x_j$ ,  $y_j$ ),  $j = 1 \dots N_j$ ,  $j$  différent de  $i$ , qui sont à l'intérieur d'un cercle de diamètre donné  $2d$ , centré en ( $x_i$ ,  $y_i$ ) ;  
déterminer un point de la frontière filtrée  $f_i$  ( $x_{fi}$ ,  $y_{fi}$ ) en faisant une moyenne des positions desdits points ( $x_j$ ,  $y_j$ ) ;  
marquer les  $N_j$  point ( $x_j$ ,  $y_j$ ) comme ne pouvant plus servir comme point de départ ;  
parmi les points restants non marqués, rechercher un nouveau point ( $x_i$ ,  $y_i$ ) comme étant le point le plus proche de ( $x_{fi}$ ,  $y_{fi}$ ) ;  
avec le nouveau point ( $x_i$ ,  $y_i$ ), recommencer à la deuxième étape, et ainsi de suite.

**[0033]** Un troisième aspect de la présente invention se rapporte à un système de protection individuelle ou collective de personnes se trouvant dans une zone potentiellement dangereuse à trois dimensions (3D), comprenant les étapes définies selon la revendication dépendante 9.

#### **Brève description des figures**

#### **[0034]**

La figure 1 représente schématiquement une vue générale et synthétique du système de protection de personnes selon la présente invention.

La figure 2 montre schématiquement comment l'algorithme de positionnement selon l'invention discrimine entre deux positions possibles du tag vis-à-vis de deux anchors, à partir de la position d'un troisième anchor.

La figure 3 montre schématiquement l'effet que peut avoir l'erreur sur la distance entre un tag et un anchor sur la détermination de position du tag.

La figure 4 représente schématiquement la création d'un repère XY selon l'invention.

La figure 5 représente schématiquement les zones respectives rouge, orange et verte définies autour d'un véhicule en mouvement.

La figure 6 représente un exemple de résultat obtenu au moyen de l'algorithme de filtrage de frontière selon l'invention.

La figure 7 représente schématiquement le principe de l'algorithme pour le filtrage de frontière.

La figure 8 illustre comment on détermine, selon l'invention, la position relative du tag par rapport à la frontière, en utilisant le théorème de Jordan.

### Description détaillée de l'invention et de formes d'exécution préférées

**[0035]** Le système selon la présente invention permet d'avertir le mineur ou toute autre personne située à proximité d'une zone dangereuse. Cet avertissement se fait par l'intermédiaire d'un émetteur-récepteur, ou « tag » ou balise, porté(e) par la personne directement sur le corps ou sur un équipement de protection individuelle (EPI). L'émetteur-récepteur ou le tag signale le danger par des signaux lumineux, acoustiques et vibratoires combinés ou non en fonction de la dangerosité.

**[0036]** Le fonctionnement requiert que chaque émetteur-récepteur puisse se localiser par rapport à la zone de danger. Pour ce faire, plusieurs bornes de référence, encore appelés « anchors », sont disposées sur le terrain. Après la pose des bornes, une étape de configuration consiste de préférence à déplacer un émetteur-récepteur spécial appelé traceur le long de la frontière entre la zone dangereuse et la zone de sécurité. Cette étape permet au système d'enregistrer un ensemble de positions qui définissent finalement la limite d'avertissement. L'enregistrement se fait au sein d'une borne centrale placée de préférence dans une valise.

**[0037]** La localisation des émetteurs-récepteurs par rapport aux bornes est effectuée par un système de trilatération

**[0038]** Une particularité de l'invention est que la définition de la zone se fait lors du traçage alors que les bornes ont été initialement posées de façon arbitraire et que la position des bornes de référence est inconnue lors de l'installation du dispositif et le restera tout au long du fonctionnement du dispositif. La résolution de cette contradiction apparente est un élément de l'invention.

**[0039]** Une seconde particularité est la protection du système contre les erreurs de mesure par la redondance de mesures et par la redondance de canaux de communication entre les bornes, le (ou les) récepteur(s) et la valise.

**[0040]** La figure 1 reprend schématiquement les différents éléments constitutifs du système de l'invention : une personne 1 porteuse d'un tag 6 (se trouvant ici en zone verte), les bornes de référence 3, la borne centrale (et la valise) 4, le traceur 5 et les trois zones de sécurité 7, 8, 9.

### Problème générique à résoudre

**[0041]** Le problème à résoudre est d'avertir une ou plusieurs personnes qu'elles sont éventuellement en danger en raison de leur position. Cette position doit pouvoir être obtenue rapidement, avec précision (+/- 10 cm par exemple) en intérieur comme en extérieur. Ce dernier point exclut toute solution basée sur un système de géolocalisation (GPS).

**[0042]** Le danger est défini selon la position occupée par la (ou les) personne(s). Plus précisément, on veut cartographier, selon l'invention, un espace donné en trois zones :

- zone verte : zone dans laquelle il n'y a pas de danger ;
- zone orange : zone dans laquelle il n'y a pas de danger mais qui est proche d'une zone de danger ;
- zone rouge : zone dans laquelle il y a danger effectif.

**[0043]** Le problème à résoudre se réduit alors selon deux axes :

- fournir une solution pour définir ces trois zones et
- fournir une solution pour déterminer dans quelle zone une personne se trouve avec une précision de localisation souhaitée de +/-10 cm par exemple.

### Particularités du problème

**[0044]** Les particularités ou exigences du problème à résoudre sont les suivantes :

- rapidité de mise en œuvre,
- nécessité d'avoir des zones mobiles (autour d'un camion par exemple),

- détermination de l'heure et de la position du système,
- présence d'obstacles,
- protection collaborative,
- principe du feu de signalisation avec un code universel à trois zones (vert, rouge, orange) et

#### Solution générale proposée

**[0045]** La solution proposée est ainsi basée sur un ensemble de bornes de référence qui sont réparties plus ou moins uniformément dans la zone dans laquelle on veut réaliser le positionnement des personnes.

**[0046]** Ces bornes de référence communiquent entre elles et communiquent également vers une borne centrale. C'est cette borne centrale qui orchestre l'ensemble du système. Dans une implémentation préférée, il est envisagé de placer cette borne centrale dans une valise et de la munir d'un écran, tactile ou non, et de boutons-poussoirs.

**[0047]** Les bornes de référence sont également capables de mesurer la distance qui les sépare par des moyens connus de l'homme de métier. Une solution par exemple est d'utiliser des transmetteurs radio UWB ou des transducteurs ultrasoniques avec une méthode TOF (*time of flight*).

**[0048]** On notera que la technologie UWB, comme d'autres technologies, peut évaluer un degré de fiabilité sur la distance renvoyée ainsi que la présence d'obstacles potentiels. Ces informations sont avantageusement utilisées pour rejeter de tout calcul les distances considérées comme non fiables.

#### Estimation de la position des tags pour une paire d'anchors $i, j$

**[0049]** Supposons que la position des anchors  $(x_0, y_0)$ ,  $(x_1, y_1)$ , etc. est connue, de même que les distances respectives du tag par rapport ces anchors :  $d_0, d_1$ , etc. On vise ici à déterminer la position la plus probable du tag  $(x_t, y_t)$ .

**[0050]** L'idée mise en œuvre selon l'invention est de considérer les anchors 2 à 2 et de déterminer  $x_t$  et  $y_t$  à partir d'une paire d'anchors  $i$  et  $j$ . Connaissant les positions des anchors  $i, j$  et les distances entre ceux-ci et le tag, respectivement  $d_i$  et  $d_j$ , il est possible de déterminer 2 positions potentielles pour le tag, correspondant à l'intersection de deux cercles. L'algorithme de calcul de ces deux positions est connu de l'homme de métier (voir par exemple

<http://www.ambrsoft.com/TrigoCalc/Circles2/Circle2.htm>).

**[0051]** Selon l'invention, des conditions d'intersection des deux cercles précités seront en outre imposées en ajoutant une tolérance qui représente une erreur de mesure possible sur les distances. Si ces conditions sont vérifiées, on continue le calcul, sinon on considère qu'il existe une erreur de mesure et que la position du tag ne peut être trouvée à l'aide de cette paire d'anchors  $i, j$ .

**[0052]** A cette étape, il existe ainsi une incertitude puisque 2 positions possibles sont données. Pour trancher, l'algorithme utilise les autres anchors  $k$  ( $k$  différent de  $i, j$ ) et détermine pour chaque anchor  $k$  la distance par rapport aux deux positions estimées et la compare à  $d_k$ . Cette étape est illustrée sur la figure 2 faisant intervenir 3 anchors A1, A2 et A3, les deux positions possibles pour le tag par rapport à A1 et A2 étant dénotées T1 et T2 respectivement (repères 61 et 62).

**[0053]** On applique ensuite un système de vote. On compare chacune des distances entre les positions estimées 61, 62 et l'anchor  $k$  avec  $d_k$ . Si la plus petite différence est celle relative à la position 61, on incrémente le score de la position 61 de 1 point. Alternativement, si la plus petite différence est celle relative à la position 62, on incrémente le score de la position 62 de 1 point. Une fois que l'on fait ce calcul pour tous les anchors  $k$ , le score le plus élevé au final donne la position correcte et on obtient  $(x_t, y_t)(ij)$ .

**[0054]** Si les deux scores sont identiques, l'indétermination subsiste. Cette indétermination peut être causée par une erreur de mesure ou par le fait que les deux positions de tag sont proches. Dans ce dernier cas, on fait la moyenne des positions.

#### Estimation de la précision de la position du tag pour une paire d'anchors $i, j$

**[0055]** Toujours selon l'invention, l'idée est d'exploiter les informations radio pour attacher une fiabilité à chaque mesure de distance. La fiabilité est exprimée sous forme d'une estimation d'erreur exprimée elle-même en mètres.

**[0056]** Une heuristique basée sur les mesures de statistiques radio est employée et fondée sur base des résultats expérimentaux. Pour une mesure de distance donnée  $d_i$  l'erreur estimée est au moins :

$$\Delta di = \Delta di_{Accuracy} + \Delta di_{Power},$$

où :

- $\Delta di_{Accuracy}$  est la précision la meilleure à laquelle on peut s'attendre. C'est un paramètre fixé par exemple à :  $di_{Accuracy} = 0,10 \text{ m}$  ;
- $\Delta di_{Power}$  est lié à la puissance reçue du « first path » FP\_Power. Plus la puissance est élevée, plus on a de chances d'être proche et en champ direct et plus la mesure est faible. On considère une perte logarithmique de précision avec la distance, à savoir par exemple une perte de 1 cm de précision avec le doublement de distance (-6 dB) :

$$\Delta di_{Power} = 0,01m * \frac{-80dBm - FP\_POWER}{6dB},$$

$$\Delta di_{Power} \in [0m, 0,05m].$$

**[0057]** Après la définition de l'heuristique comme ci-dessus, on va effectuer un calcul de pondération. L'objectif de cette étape est de déterminer si les positions en x et en y sont précises ou pas. Pour ce faire, l'idée est de « perturber » les mesures avec les valeurs d'erreur calculées ci-dessus et de constater l'impact de ces perturbations sur la position trouvée par l'algorithme.

**[0058]** Un exemple est illustré sur la figure 3 où l'erreur sur la position de tag (en x et y) est uniquement fonction de l'erreur  $\Delta d2$  (notée erreur d2 sur la figure) sur la distance entre le tag et l'anchor A2.

**[0059]** L'algorithme de positionnement est donc mis en œuvre quatre fois en perturbant les mesures sur di et dj de la façon suivante :

$$di \rightarrow di \pm \Delta di ,$$

$$dj \rightarrow dj \pm \Delta dj.$$

**[0060]** Après application de l'algorithme, on obtient 4 positions perturbées  $(xt+\Delta x(k), yt+\Delta y(k))(ij)$  avec k variant de 0 à 3 (4 perturbations possibles), xt et yt étant les positions obtenues à partir des distances di et dj non perturbées. La fiabilité des mesures en x et y est alors calculée sur base de l'écart que la perturbation crée sur la mesure. Les erreurs de position sur xt(ij) et yt(ij) peuvent être calculées de la façon suivante :

$$\Delta xt(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta x(k))^2} ,$$

$$\Delta yt(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta y(k))^2} .$$

**[0061]** La loi de pondération suivante est alors appliquée :

$$Pxt(ij) = \frac{1}{\Delta xt(ij)^2} ,$$

$$Pyt(ij) = \frac{1}{\Delta yt(ij)^2} .$$

**[0062]** Lorsque beaucoup d'anchors sont présents et que le nombre de combinaisons d'anchors donnant peu de précision est tel que ces mesures possèdent quand même un poids non négligeable dans l'estimation de la précision, cela conduit à une erreur de mesure inutile. On va donc limiter le nombre de mesures utilisées en annulant certains poids, selon la procédure suivante :

1. Copier les  $Pxt(ij)$  dans un tableau.
2. Classer les  $Pxt(ij)$  dans ce tableau par ordre décroissant.
3. Stocker la valeur du NPTème élément dans une variable locale *Threshold*. Si NPT est supérieur au dernier indice du tableau, prendre la dernière valeur du tableau.
- 4.

$$\forall Pxt(ij) < Threshold \Rightarrow Pxt(ij) = 0.$$

**[0063]** On fait de même pour  $Pyt(ij)$ . Ainsi on ne gardera que les NPT pondérations les plus fortes et même s'il y a un grand nombre d'anchors, le poids des anchors qui créent des erreurs importantes de position sera nul. Pour démarrer, NPT peut être fixé à 10 par exemple.

**[0064]** Les fiabilités obtenues ci-dessus peuvent alors être normalisées pour que leur somme vaille 1, c'est-à-dire :

$$pxt(ij) = \frac{Pxt(ij)}{\sum_{kl} Pxt(kl)},$$

$$pyt(ij) = \frac{Pyt(ij)}{\sum_{kl} Pyt(kl)}.$$

**[0065]** Si les algorithmes précédents sont appliqués pour toutes les paires d'anchors (ij) 2 à 2, on obtient un ensemble : (xt, yt) (ij) et (pxt, pyt) (ij) pour toutes les combinaisons de ij.

**[0066]** Par exemple, si une demande de localisation est exécutée pour 5 anchors, on obtient  $C_2^5=10$  positions et les fiabilités associées.

**[0067]** On a donc l'estimation de la position du tag (xt, yt) :

$$xt = \sum_{ij} pxt(ij)xt(ij),$$

$$yt = \sum_{ij} pyt(ij)yt(ij).$$

**[0068]** L'estimation de l'erreur sur la position du tag (xt, yt) est alors calculée respectivement en x et y par :

$$ext = \sum_{ij} pxt(ij)\Delta xt(ij),$$

$$eyt = \sum_{ij} pyt(ij)\Delta yt(ij).$$

#### Création d'un repère orthonormé « XY »

**[0069]** Une fois les bornes de référence installées, l'utilisateur demande au système de vérifier le placement des bornes. Pour ce faire, la borne centrale interroge l'ensemble de bornes de référence et leur demande la distance qui les sépare chacune les unes des autres (voir ci-dessus).

**[0070]** Toute localisation nécessite un repère de référence. Selon l'art antérieur il est toujours requis que ce repère soit défini en assignant des positions connues aux bornes de référence. L'invention proposée ne requiert cependant pas



cette lourde contrainte pour un système qui doit être installé rapidement.

**[0071]** A partir des informations de distance collectées au sujet des bornes de référence, la borne centrale détermine un repère XY qui sera utilisé pour la suite de la localisation. Cette détermination fonctionne en plusieurs étapes (voir aussi figure 4) :

1) Une borne 10, de préférence la borne centrale (se trouvant dans la valise) est assignée arbitrairement à la coordonnée (0, 0).

2) Une seconde borne 20 qui est à une distance d est assignée à la coordonnée (d, 0).

3) Une troisième borne 30 est localisée à partir des deux autres en utilisant l'intersection de deux cercles à partir des informations de distance (= rayon des cercles). Cela crée une ambiguïté car il existe deux intersections possibles. Une des deux positions est alors choisie arbitrairement. Par exemple, la position de la troisième borne dont la coordonnée y est positive est choisie.

4) A ce stade, étant donné que trois bornes de référence sont localisées, l'ensemble des autres bornes (par ex. borne 40 sur la figure) peuvent être localisées par l'algorithme de localisation des tags décrit ci-dessus.

5) Une étape de raffinement est possible une fois toutes les coordonnées des bornes déterminées. Cette étape a pour but de rendre insensible l'algorithme de localisation au choix initial des bornes aux étapes 1), 2) et 3).

**[0072]** On notera finalement que le choix des bornes aux étapes 1), 2) et 3) peut être basé sur les fiabilités des mesures de distance. Chaque nouvelle borne dont on cherche à déterminer la position sera choisie comme étant celle qui a l'erreur de position la plus faible.

#### Généralisation à un positionnement des anchors et des tags dans l'espace 3D

**[0073]** Toute la discussion ci-dessus est basée sur l'hypothèse que l'on localise les anchors et les tags dans un repère de référence bidimensionnel ou XY. La présente invention ne se limite toutefois pas à une localisation dans un plan et tous les concepts présentés ici peuvent être généralisés à une localisation dans un espace à trois dimensions (3D).

**[0074]** Ainsi, la méthode qui consiste, en 2D, à considérer une paire d'anchors, à déterminer deux positions possibles par intersection de deux cercles et à utiliser les autres anchors par un mécanisme de vote sur les distances pour sélectionner une position parmi ces 2 positions possibles se généralise aisément en 3D en une méthode qui consiste à considérer un triplet d'anchors, à déterminer deux positions possibles par intersection de trois sphères et à utiliser les autres anchors par un mécanisme de vote sur les distances pour sélectionner une position parmi ces 2 positions possibles.

**[0075]** De même, alors que le mécanisme de perturbation des deux distances par rapport aux paires d'anchors en 2D permet d'obtenir quatre positions perturbées, en 3D, le mécanisme peut être mis en œuvre sur les trois distances par rapport au triplet d'anchors et permet d'obtenir neuf positions perturbées.

**[0076]** Pour ce qui concerne la détermination de la frontière en 3D, selon une forme d'exécution préférée, le parcours qui définit la zone de sécurité est en fait une projection sur le plan X, Y, lesdites zones étant alors des cylindres (généralisés). Par exemple, dans le cas d'un immeuble protégé en 3D dans lequel la cage d'ascenseur est enlevée, une zone de sécurité serait définie au rez-de-chaussée par traçage de la frontière et serait reportée automatiquement à tous les étages. Ainsi, en 3D, uniquement lors du traçage de la frontière et lors de la détection de l'inclusion à l'aide du théorème de Jordan, il suffit d'appliquer les algorithmes utilisés en 2D en ne tenant pas compte de la coordonnée Z pour avoir le fonctionnement voulu.

#### Utilisation des erreurs de position des anchors pour affiner la création du repère orthonormé XY

**[0077]** Lors de la création du repère orthonormé, les anchors sont placés de façon approximative, comme indiqué ci-dessus, et les seules informations connues sont les distances entre les anchors ( $d_{ij}$ ) et les erreurs associées ( $\Delta d_{ij}$ ) - voir la méthode exposée ci-dessus où on remplace les notations  $d_i$  et  $\Delta d_i$  respectivement par  $d_{ij}$  et  $\Delta d_{ij}$ . Les distances  $d_{ij}$  peuvent être mesurées un grand nombre de fois (NMA) et sont donc précises. On peut par exemple se limiter à faire la moyenne des erreurs sur les quatre valeurs centrales de  $d_{ij}$ .

**[0078]** A ce stade, l'algorithme dispose donc d'une série d'anchors na dont il ne connaît pas les positions mais uniquement les distances relatives  $d_{ij}$ .

**[0079]** L'algorithme de détermination de la position des anchors est le suivant :

1) La borne centrale est placée au point de coordonnées (0, 0). Celui-ci est noté  $a_0$ .

2) Parmi les anchors disponibles, on sélectionne avantageusement un anchor an qui est à la distance maximale pour laquelle on a une mesure de distance fiable (la fiabilité est définie sur base de l'erreur estimée  $\Delta d_{ij}$ ). Cet anchor est alors en position  $(d_n, 0)$  puisqu'on connaît sa distance à  $(0, 0)$ .

3) On a donc une base d'anchors positionnés et utilisés pour démarrer la localisation. Comme indiqué ci-dessus, la position du troisième anchor est choisie arbitrairement (parmi deux positions possibles). Par exemple, on choisit la position dont la coordonnée y est positive. On passe ensuite en revue tous les anchors de position inconnue (à partir du quatrième) et on détermine leur position grâce à l'algorithme décrit ci-dessus en considérant les anchors comme des tags dans l'algorithme de positionnement.

4) Parmi les positions déterminées, on choisit un nouvel anchor qui a la somme des erreurs  $ext + eyt$  la plus faible.

5) On recommence l'opération en 3) en utilisant l'ensemble des anchors dont on connaît la position.

**[0080]** Ainsi, chaque nouvel anchor est positionné de plus en plus précisément. A la fin de cette phase, tous les anchors sont localisés sur une grille orthonormée. Par rapport à la réalité physique, du fait que le troisième anchor est choisi arbitrairement (voir ci-dessus), un effet de miroir en x et y est possible mais celui-ci n'a aucune influence sur la frontière.

#### Modes de détermination d'une frontière de la zone rouge

**[0081]** Il est envisagé, selon l'invention, de déterminer la frontière de la zone rouge d'au moins trois façons différentes à partir de la position des bornes de référence localisées dans un repère XY.

#### Localisation sur écran tactile

**[0082]** Les bornes de référence sont situées sur un écran tactile dans un repère XY. Il est alors possible de tracer sur l'écran tactile une limite déterminant la zone rouge. La frontière est alors définie comme un ensemble de points faiblement espacés et joints par des segments de droite.

#### Localisation par un traceur

**[0083]** Comme déjà mentionné ci-dessus, un appareil appelé traceur capable de communiquer avec la borne centrale et les bornes de référence est déplacé le long de la frontière par une personne, en marchant par exemple. La borne centrale interroge périodiquement (typiquement 10x par seconde) le traceur et lui demande les distances qui le sépare des bornes de référence. A partir de ces informations, la borne centrale détermine les positions successives du traceur et crée ainsi une frontière en joignant ces positions rapprochées par des segments de droite. A titre d'illustration non limitative, le traceur pourrait être matérialisé sous forme d'une roulette munie d'un manche. La roulette pourrait être avantageusement utilisée pour envoyer le signal périodique susmentionné qui correspondrait à un déplacement donné de celle-ci.

#### Localisation géométrique

**[0084]** Dans le cas de bornes de référence placées aux quatre « coins » d'un véhicule tel qu'un camion par exemple, la zone de danger est définie en reliant les quatre bornes de référence par des segments de droite et en appliquant une homothétie pour définir un rectangle plus grand qui délimite la zone de danger (rouge), comme représenté sur la figure 5.

**[0085]** Il est également envisagé de ne considérer la présence du danger que dans la direction de déplacement du véhicule afin de limiter au maximum les alertes qui empêchent les véhicules de se déplacer à cause de la signalisation de faux dangers.

**[0086]** On notera par ailleurs qu'il est aussi envisagé de localiser les bornes de référence mobiles du camion par rapport aux bornes de référence fixes de la même manière que l'on localise les tags. Grâce à cela, il est possible d'avoir une cartographie complète de la localisation des véhicules et des piétons.

#### Filtrage de la frontière

**[0087]** Comme expliqué ci-dessus, la frontière est définie par un ensemble de points reliés par des segments de droite. Dans le cas du traceur, si la personne munie du traceur se déplace à une vitesse de 1 m/s et détermine une frontière de 1 km de long, cela représente 10 000 points et segments (si acquisition de 10 points par seconde). Il est donc avantageusement prévu de modifier cette frontière et de la remplacer par un nombre réduit de points et de segments en la « filtrant ». Cette étape est exécutée une seule fois et permet de réduire la puissance de calcul nécessaire à la détermination de la position des tags par rapport à la frontière. La figure 6 représente un exemple de filtrage de frontière

(données brutes obtenues à partir du traceur 50 et frontière après filtrage 51).

**[0088]** Plus précisément, selon l'invention, à la suite du traçage, la frontière est constituée d'une liste de points de coordonnées  $(x_0, y_0)$ ,  $(x_1, y_1)$ , ... plus ou moins ordonnée. Cette liste représente un ensemble dense de points qui doit être « allégé » pour faciliter la détermination de la position du tag par rapport à la frontière. L'idée mise en œuvre par l'invention est de parcourir ces points et de les condenser en une liste de points espacés en moyenne par une distance  $d$ .

**[0089]** L'algorithme est le suivant (voir figure 7) :

1. Sélectionner le premier point capturé  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 0$  pour ce premier point.

2. Déterminer l'ensemble des points qui sont dans un cercle de diamètre  $2d$  centré autour de ce point, soit :

$$(x_j, y_j) \text{ tel que } \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} < d$$

3. Déterminer le point de la frontière  $(x_{fi}, y_{fi})$ ,  $i = 1, 2, \dots$ , en faisant la moyenne de la position des  $n_j$  points  $(x_j, y_j)$  :

$$x_{fi} = \frac{\sum_j x_j}{n_j},$$

$$y_{fi} = \frac{\sum_j y_j}{n_j}.$$

4. Marquer définitivement l'ensemble des points  $(x_j, y_j)$  comme ne pouvant plus servir de point de départ  $(x_i, y_i)$ . Sur la figure 7, les points marqués sont hachurés.

5. Parmi les points non marqués, rechercher un nouveau point  $(x_i, y_i)$  comme étant le point le plus proche de  $(x_{fi}, y_{fi})$ , c'est-à-dire tel qu'il minimise la distance par rapport à celui-ci. Avec ce nouveau point, recommencer à l'étape 2). On ne considère donc dans cette recherche qu'un nombre limité de points à partir du dernier point marqué. Ainsi, on force l'algorithme à parcourir la liste initiale de points dans un certain ordre, par exemple l'ordre dans lequel elle a été créée.

**[0090]** L'algorithme se termine lorsqu'il n'y a plus de point  $(x_i, y_i)$  à sélectionner. Le fait de marquer les points et de repartir sur un nouveau point  $(x_i, y_i)$ , en excluant les points qui ont déjà servi à l'étape 3, permet d'éviter des boucles locales et force l'algorithme à progresser le long de la frontière dans un sens déterminé.

**[0091]** Une fois la frontière parcourue, un très grand nombre de points devraient être marqués. Si ce n'est pas le cas, il sera nécessaire de générer un avertissement. Il faut noter que les points très éloignés sont automatiquement rejetés. Le seul paramètre est  $d$  qui donne un espacement moyen entre les points après filtrage.

**[0092]** L'ensemble des points  $(x_{fi}, y_{fi})$  constitue la frontière nommée  $F$ .

#### Détermination de la position du tag par rapport à la frontière

**[0093]** Toujours selon l'invention, on va déterminer si le tag est à l'intérieur ou à l'extérieur de la frontière  $F$  en traçant une droite horizontale passant par le tag et en vérifiant le nombre de fois que cette droite coupe la frontière par exemple à droite du tag. Si le nombre d'intersections est impair, le tag est au départ à l'intérieur du polygone, sinon, il est à l'extérieur de celui-ci.

**[0094]** Cette méthode est démontrée par le théorème (de la courbe) de Jordan (lien : [http://en.wikipedia.org/wiki/Jordan\\_curve\\_theorem](http://en.wikipedia.org/wiki/Jordan_curve_theorem)).

**[0095]** La figure 8 montre plusieurs exemples où le nombre d'intersections avec la frontière est soit pair, soit impair. En particulier, cette méthode est très efficace dans le cas de frontières « bruitées » qui présentent des micro-boucles (voir ligne horizontale inférieure et tag T3).

#### Détermination d'une frontière de la zone orange

**[0096]** La zone orange est définie par un paramètre de distance par rapport à la zone rouge. Par exemple, on peut décider qu'un tag entre dans la zone orange s'il est à moins de 80 cm de la zone rouge. Etant donné une frontière définie par un ensemble de segments, il est aisé pour l'homme du métier de trouver les algorithmes géométriques nécessaires pour déterminer si un tag est ou non à moins de 80 cm de la frontière.

Sécurisation en fonctionnement

**[0097]** En fonctionnement, toute personne qui arrive dans une zone protégée doit obligatoirement porter un tag. Ce tag est un émetteur-récepteur mobile, capable de communiquer avec la borne centrale et capable de mesurer les distances qui le séparent des bornes de référence.

**[0098]** Une fois que la frontière correspondant aux zones rouge et orange est définie par rapport aux bornes de référence, la borne centrale est à même d'interroger périodiquement l'ensemble des tags pour lesquels elle assure la protection, de déterminer leur position dans le repère XY et d'évaluer cette position par rapport aux frontières des zones préalablement définies.

**[0099]** Les tags sont avantageusement munis de moyens de signalisation visuels, auditifs et/ou vibratoires. Quand un tag entre dans une zone orange ou rouge, il en est averti par la borne centrale.

**[0100]** Il est prévu, selon une modalité particulière de l'invention, d'avertir les autres tags de façon à ce que plusieurs personnes formant une équipe puissent se surveiller et se protéger les unes des autres.

**[0101]** Ainsi, si un tag entre dans une zone rouge, il peut par exemple se mettre à vibrer, émettre un son strident et indiquer une signalisation lumineuse rouge. Les tags portés par les autres personnes ne feront qu'émettre un son par exemple. Ainsi, les porteurs d'un tel tag savent que quelqu'un d'autre du groupe de personnes est en danger.

**[0102]** L'originalité de la présente invention réside tout d'abord dans la solution apportée pour ne pas avoir à encoder manuellement la localisation des bornes de référence. Une seconde originalité est la manière dont la frontière est définie à l'aide d'un traceur puis filtrée. L'idée de rendre le système basé sur la collaboration des personnes est également innovante.

Glossaire**[0103]**

- UWB (ultra-wideband signal) : signal à large bande (plus de 100 MHz normalisé par IEEE 802.15.4a - 2007).
- RTLS : real-time location system.
- anchor (point d'ancrage, borne de référence) : objet fixe ou mobile servant de référence pour localiser un autre objet.
- tag (balise) : émetteur-récepteur mobile destiné à être localisé par rapport aux anchors.

Repères de référence**[0104]**

1 personne à protéger

2 frontière de la zone dangereuse (zone rouge)

3 borne de référence ou anchor

4 borne centrale (avec valise)

5 traceur de frontière

6 tag porté par la personne

7 zone verte

8 zone orange

9 zone rouge

10 borne N°1 dans le repère XY

20 borne N°2 dans le repère XY

30 borne N°3 dans le repère XY

40 borne N°4 dans le repère XY

50 frontière brute

5 51 frontière filtrée

61 1<sup>ère</sup> intersection des deux cercles centrés sur A1 et A2 (T1)

10 62 2<sup>ème</sup> intersection des deux cercles centrés sur A1 et A2 (T2)

## Revendications

15 1. Procédé de mise en œuvre d'un système de protection individuelle ou collective de personnes (1) dans une zone potentiellement dangereuse, comprenant les étapes suivantes :

- on installe la pluralité de bornes de référence (3) de façon arbitraire dans la zone potentiellement dangereuse ;
- la borne centrale (4) interroge la pluralité de bornes de référence (3) et détermine les distances les séparant les unes des autres ainsi que la distance les séparant de la borne centrale (4) ;
- 20 - la borne centrale établit un repère de référence bidimensionnel ou XY qui sera utilisé pour la localisation des personnes (1) ;
- on détermine et on filtre une frontière fermée (2) de la zone potentiellement dangereuse, dite zone rouge (9), ladite frontière fermée (2) étant définie comme étant un polygone, c'est-à-dire un ensemble de points ou sommets reliés par des segments de droite ou côtés ;
- 25 - on détermine une frontière d'une zone se trouvant à l'intérieur de la zone rouge (9), définissant une zone dite orange (8), la zone se trouvant à l'intérieur de la frontière délimitant la zone orange étant définie comme la zone de sécurité pour les personnes ou zone verte (7), les étapes précédentes étant des étapes de configuration ;
- en fonctionnement, on munit d'un tag (6) chaque personne (1) amenée à se trouver dans la zone potentiellement dangereuse ;
- 30 - la borne centrale (4) interroge périodiquement l'ensemble des tags (6), détermine leur position dans le repère XY pour assigner à chacune de ces positions une localisation soit dans la zone verte (7), soit dans la zone orange (8), soit dans la zone rouge (9) ;
- si un des tags (6) se trouve dans la zone orange (8) ou rouge (9), la borne centrale (4) actionne les moyens d'avertissement associés audit tag (6) et optionnellement actionne un des moyens d'avertissement associés aux autres tags (6) ;
- 35 - dans l'étape de détermination de la position des tags (6) dans le repère XY, pour assigner à chacune de ces positions une localisation soit dans la zone verte (7), soit dans la zone orange (8), soit dans la zone rouge (9), chaque tag (6) est positionné par rapport à au moins une paire d'ancors (i, j ; i, j = 1, 2, ...), ce qui donne deux positions possibles T1, T2 (61, 62) pour le tag (6), la position retenue étant déterminée grâce à un vote basé
- 40 sur l'utilisation des autres ancors k (k différent de i, j), un score étant affecté à chaque position possible T1, T2 (61, 62), en calculant la différence entre la distance tag-anchor k, ou dk, et chacune des distances de l'anchor k et des positions possibles T1, T2 (61, 62), la différence la plus faible causant l'incrément du score pour la position possible T1, T2 (61, 62) correspondante, le score le plus élevé au final donnant la position retenue parmi les deux positions possibles ;
- 45 - l'on détermine si le tag (6) se trouve à l'intérieur, respectivement à l'extérieur, du polygone constituant la frontière fermée (2) en traçant une droite horizontale passant par le tag et en vérifiant le nombre de fois que cette droite coupe la frontière (2) à droite du tag (6), le tag(6) se trouvant à l'intérieur de la frontière si le nombre d'intersections est impair, le tag (6) se trouvant à l'extérieur de la frontière si le nombre d'intersections est pair ;

50 **caractérisé en ce que** la position et l'erreur de position d'un tag (xt, yt)(ij) par rapport à une pluralité de paires d'ancors i, j (i, j = 1, 2, ...) sont estimées selon les étapes suivantes :

- une heuristique fondée sur des statistiques de mesure de distance entre tag et ancors i et j, respectivement notées di et dj, est utilisée de manière à estimer une erreur  $\Delta d_i$  et une erreur  $\Delta d_j$ ,  $\Delta d$  étant au moins égal à  $\Delta d_{\text{Accuracy}} + \Delta d_{\text{Power}}$ , où  $\Delta d_{\text{Accuracy}}$  est la précision la meilleure à laquelle on peut s'attendre et  $\Delta d_{\text{Power}}$  est liée à la puissance reçue du « first path » ;
- 55 - le calcul du positionnement du tag par rapport aux ancors i, j est mis en œuvre quatre fois en perturbant les mesures sur di et dj de la façon suivante :

$$di \rightarrow di \pm \Delta di ,$$

5

$$dj \rightarrow dj \pm \Delta dj ;$$

- on obtient 4 positions perturbées  $(x_t + \Delta x(k), y_t + \Delta y(k))_{(ij)}$  avec  $k$  variant de 0 à 3;
- les erreurs de position sur  $x_t(ij)$  et  $y_t(ij)$  sont calculées comme suit :

10

$$\Delta x_t(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta x(k))^2} ,$$

15

$$\Delta y_t(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta y(k))^2} ;$$

20

- une loi de pondération est appliquée comme suit pour obtenir des fiabilités :

$$P_{xt}(ij) = \frac{1}{\Delta x_t(ij)^2} ,$$

25

$$P_{yt}(ij) = \frac{1}{\Delta y_t(ij)^2} ;$$

30

- on classe les pondérations par ordre décroissant et on garde un nombre prédéterminé de pondérations les plus fortes, pour éliminer les ancres qui créent des erreurs importantes ;
- les fiabilités précitées sont normalisées pour que leur somme vaille 1, c'est-à-dire :

35

$$p_{xt}(ij) = \frac{P_{xt}(ij)}{\sum_{kl} P_{xt}(kl)} ,$$

40

$$p_{yt}(ij) = \frac{P_{yt}(ij)}{\sum_{kl} P_{yt}(kl)} ;$$

- l'estimation de la position du tag  $(x_t, y_t)$  est :

45

$$x_t = \sum_{ij} p_{xt}(ij) x_t(ij) ,$$

$$y_t = \sum_{ij} p_{yt}(ij) y_t(ij) ;$$

50

- l'estimation de l'erreur sur la position du tag  $(x_t, y_t)$  est alors calculée respectivement en  $x$  et  $y$  par :

$$e_{xt} = \sum_{ij} p_{xt}(ij) \Delta x_t(ij) ,$$

55

$$e_{yt} = \sum_{ij} p_{yt}(ij) \Delta y_t(ij) ;$$

et **en ce que**, lors de l'établissement du repère XY, le premier ancre (10) et le deuxième ancre (20) sont assignés

aux coordonnées respectives (0, 0), arbitrairement, et (d, 0), d étant la distance mesurée entre les deux anchors, le troisième anchor (30) est localisé à partir des deux anchors précités (10, 20) en utilisant l'intersection de deux cercles à partir des distances respectives du troisième anchor (30) par rapport aux deux anchors précités (10, 20), une des deux intersections possibles étant choisie comme position du troisième anchor (30), la position retenue étant déterminée arbitrairement, les anchors suivants (40, ...) sont localisés à partir des trois premiers anchors (10, 20, 30) en utilisant un algorithme de trilatération le troisième anchor (30) étant choisi parmi tous les anchors restants de position inconnue, de manière telle que la somme des erreurs ext + eyt soit la plus faible pour cet anchor, la position des anchors suivants étant alors déterminée en sélectionnant à chaque fois l'anchor de manière telle que la somme des erreurs ext + eyt soit la plus faible pour cet anchor.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la frontière (2, 50) de la zone rouge (9) est déterminée :

- soit en utilisant une localisation des bornes de référence (3) dans le repère XY affichée sur un écran tactile associé à la borne centrale (4) et en traçant ladite frontière (2, 50) sur l'écran tactile sous forme du polygone précité ;

- soit en utilisant un appareil appelé traceur (5) qui communique avec la borne centrale (4) et les bornes de référence (3), la borne centrale (4) interrogeant périodiquement le traceur (5) lorsqu'il est déplacé dans la zone et lui demandant les distances respectives le séparant des bornes de référence (3), ce qui permet à la borne centrale (4) de déterminer les positions successives du traceur dans le repère XY et de créer la frontière (2, 50) en joignant ces positions par des segments de droite pour créer le polygone précité ;

- soit par localisation géométrique en partant des positions d'une pluralité de bornes de référence (3) dans le repère XY et en appliquant une homothétie pour définir une frontière (2, 50) qui englobe le polygone réalisé par les bornes de référence.

3. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la frontière de la zone orange (8) est déterminée à partir de la frontière (2) de la zone rouge (9) en créant un polygone intérieur par homothétie, la distance correspondante au retrait étant comprise entre 50 cm et 1 m.

4. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le filtrage de la frontière fermée (2) de la zone potentiellement dangereuse est réalisé, dont les sommets du polygone sont notés (x0, y0), (x1, y1), etc., selon les étapes suivantes :

- sélectionner un point (xi, yi), i = 0, 1, 2... ;

- sélectionner l'ensemble des points (xj, yj), j = 1 ...Nj, j différent de i, qui sont à l'intérieur d'un cercle de diamètre donné 2d, centré en (xi, yi) ;

- déterminer un point de la frontière filtrée fi (xfi, yfi) en faisant une moyenne des positions desdits points (xj, yj) ;

- marquer les Nj point (xj, yj) comme ne pouvant plus servir comme point de départ ;

- parmi les points restants non marqués, rechercher un nouveau point (xi, yi) comme étant le point le plus proche de (xfi, yfi) ;

- avec le nouveau point (xi, yi), recommencer à la deuxième étape, et ainsi de suite.

5. Système de protection individuelle ou collective de personnes (1) se trouvant dans une zone potentiellement dangereuse, comprenant au moins les dispositifs suivants :

- une pluralité de bornes de référence ou anchors (3) dont une borne centrale (4), répartis dans ladite zone, lesdits anchors (3, 4) communiquant de manière bidirectionnelle entre eux, et étant capables de mesurer la distance qui les sépare les uns des autres avec une précision au moins égale à une valeur prédéterminée ;

- une unité automatisée d'établissement d'un repère de référence bidimensionnel ou XY, configurée pour, à partir des distances mesurées entre les anchors (3, 4), assigner d'abord une position dans le repère XY, à trois anchors (10, 20, 30), de manière telle que la position du troisième anchor (30) soit déterminée arbitrairement à partir des positions du premier anchor (10) et du second anchor (20), ainsi que des distances respectives entre le troisième anchor (30) avec le premier anchor (10) et le second anchor (20), et localiser ensuite les autres anchors (40, ...) dans ce repère XY par une méthode de trilatération ;

- au moins un émetteur-récepteur mobile, appelé tag ou balise (6), porté par une personne (1) et capable de communiquer bidirectionnellement au moins avec la borne centrale (4) et avec d'autres tags (6), ledit tag (6) étant muni de moyens d'avertissement de danger actionnables par la borne centrale (4) ;

- une unité de traçage (5) d'un polygone constituant une frontière fermée (2) de la zone potentiellement dangereuse à partir de la position des anchors (3) une fois localisés dans le repère XY précité, ladite frontière (2)

étant destinée à la définition d'au moins une zone dans laquelle la présence d'une personne (1) provoque l'actionnement par la borne centrale (4) des moyens d'avertissement de danger associés au tag (6) ;

- une unité automatisée de positionnement des tags dans le repère XY et par rapport à la frontière fermée (2), configurée pour positionner chaque tag (6) par rapport à au moins une paire d'anchors (i, j ; i, j = 1, 2, ...), ce qui donne deux positions possibles T1, T2 (61, 62) pour le tag (6), la position retenue étant déterminée grâce à un vote basé sur l'utilisation des autres anchors k (k différent de i, j), un score étant affecté à chaque position possible T1, T2 (61, 62), en calculant la différence entre la distance tag-anchor k, ou dk, et chacune des distances entre l'anchor k et les positions possibles T1, T2 (61, 62), la différence la plus faible causant l'incréméntation du score pour la position possible T1, T2 (61, 62) correspondante, le score le plus élevé au final donnant la position retenue parmi les deux positions possibles T1, T2 (61, 62) ; ladite unité automatisée précitée étant également configurée pour déterminer si le tag (6) se trouve à l'intérieur, respectivement à l'extérieur, du polygone constituant la frontière fermée (2) en traçant une droite horizontale passant par le tag et en vérifiant le nombre de fois que cette droite coupe la frontière (2) à droite du tag (6), le tag (6) se trouvant à l'intérieur de la frontière si le nombre d'intersections est impair, le tag (6) se trouvant à l'extérieur de la frontière si le nombre d'intersections est pair.

**caractérisé en ce que** l'unité automatisée de positionnement des tags dans le repère XY et par rapport à la frontière fermée (2) est configurée pour estimer la position et l'erreur de position d'un tag (xt, yt)(ij) par rapport à une pluralité de paires d'anchors i, j (i, j = 1, 2, ...) selon les étapes suivantes :

- une heuristique fondée sur des statistiques de mesure de distance entre tag et anchors i et j, respectivement notées di et dj, est utilisée de manière à estimer une erreur  $\Delta di$  et une erreur  $\Delta dj$  ;  
- le calcul du positionnement du tag est mis en œuvre quatre fois en perturbant les mesures sur di et dj de la façon suivante :

$$di \rightarrow di \pm \Delta di ,$$

$$dj \rightarrow dj \pm \Delta dj ;$$

- on obtient 4 positions perturbées (xt+ $\Delta x(k)$ , yt+ $\Delta y(k)$ )(ij) avec k variant de 0 à 3;  
- les erreurs de position sur xt(ij) et yt(ij) sont calculées comme suit :

$$\Delta xt(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta x(k))^2} ,$$

$$\Delta yt(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta y(k))^2} ;$$

- une loi de pondération est appliquée comme suit pour obtenir des fiabilités :

$$Pxt(ij) = \frac{1}{\Delta xt(ij)^2} ,$$

$$Pyt(ij) = \frac{1}{\Delta yt(ij)^2} ;$$

- les fiabilités précitées sont normalisées pour que leur somme vaille 1, c'est-à-dire :

$$pxt(ij) = \frac{Pxt(ij)}{\sum_{kl} Pxt(kl)} ,$$



$$pyt(ij) = \frac{Pyt(ij)}{\sum_{kl} Pyt(kl)} ;$$

- l'estimation de la position du tag (xt, yt) est :

$$xt = \sum_{ij} pxt(ij)xt(ij) ,$$

$$yt = \sum_{ij} pyt(ij)yt(ij) ;$$

- l'estimation de l'erreur sur la position du tag (xt, yt) est alors calculée respectivement en x et y par :

$$ext = \sum_{ij} pxt(ij)\Delta xt(ij) ,$$

$$eyt = \sum_{ij} pyt(ij)\Delta yt(ij).$$

et ladite unité automatisée est également configurée pour que, lors de l'établissement du repère XY, le premier anchor (10) et le deuxième anchor (20) soient assignés aux coordonnées respectives (0, 0), arbitrairement, et (d, 0), d étant la distance mesurée entre les deux anchors, le troisième anchor (30) étant localisé à partir des deux anchors précités (10, 20) en utilisant l'intersection de deux cercles à partir des distances respectives du troisième anchor (30) par rapport aux deux anchors précités (10, 20), une des deux intersections possibles étant choisie comme position du troisième anchor (30), la position retenue étant déterminée arbitrairement, les anchors suivants (40, ...) étant localisées à partir des trois premiers anchors (10, 20, 30) en utilisant un algorithme de trilatération, le troisième anchor (30) étant choisi parmi tous les anchors restants de position inconnue, de manière telle que la somme des erreurs ext + eyt soit la plus faible pour cet anchor, la position des anchors suivants étant alors déterminée en sélectionnant à chaque fois l'anchor de manière telle que la somme des erreurs ext + eyt soit la plus faible pour cet anchor.

6. Système selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** la borne centrale (4) est placée dans une valise munie d'un contrôleur et de moyens d'entrées/sorties comportant des boutons-poussoirs et un écran, de préférence un écran tactile.

7. Système selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** les bornes de référence (3) et la borne centrale (4) sont équipées de transmetteurs radio UWB et/ou de transducteurs ultrasoniques.

8. Système selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** les moyens d'avertissement sont des moyens lumineux, acoustiques et/ou vibratoires.

9. Système de protection individuelle ou collective de personnes (1) selon la revendication 5, la zone potentiellement dangereuse comprenant trois dimensions (3D) :

- la pluralité de bornes de référence ou anchors (3) dont une borne centrale (4), répartis dans ladite zone, lesdits anchors (3, 4) communiquant de manière bidirectionnelle entre eux, et étant capables de mesurer la distance qui les sépare les uns des autres avec une précision au moins égale à une valeur prédéterminée ;

- l'unité automatisée d'établissement étant adaptée à établir un repère de référence tridimensionnel ou XYZ, configurée pour, à partir des distances mesurées entre les anchors (3, 4), assigner d'abord une position dans le repère XYZ, au moins en partie arbitrairement, à quatre anchors (10, 20, 30, 40) et localiser ensuite les autres anchors (40, ...) dans ce repère XY par une méthode de trilatération ;

- l'unité automatisée de positionnement des tags dans le repère XYZ, étant configurée pour positionner chaque tag (6) par rapport à au moins un triplet d'anchors (i, j ; k ; i, j, k = 1, 2, ...), ce qui donne deux positions possibles T1, T2 (61, 62) pour le tag (6) par intersection de trois sphères, la position retenue étant déterminée grâce à un vote basé sur l'utilisation des autres anchors l (l différent de i, j, k), un score étant affecté à chaque position possible T1, T2 (61, 62), en calculant la différence entre la distance tag-anchor l, ou dl, et chacune des distances entre l'anchor l et les positions possibles T1, T2 (61, 62), la différence la plus faible causant l'incrément

du score pour la position possible T1, T2 (61, 62) correspondante, le score le plus élevé au final donnant la position retenue parmi les deux positions possibles T1, T2 (61, 62) ;

- l'unité de traçage (5) d'une frontière (2) de la zone potentiellement dangereuse étant adaptée à tracer la frontière à partir de la position des anchors (3) une fois localisés dans le repère XYZ précité, ladite frontière (2) étant destinée à la définition d'au moins une zone dans laquelle la présence d'une personne (1) provoque l'actionnement par la borne centrale (4) des moyens d'avertissement de danger associés au tag (6).

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Durchführen eines Systems zum individuellen oder kollektiven Schutz von Personen (1) in einem potentiell gefährlichen Bereich, das die folgenden Schritte umfasst:

- Installieren der Vielzahl von Referenzklemmen (3) auf willkürliche Weise in dem potenziell gefährlichen Bereich;
- Abfragen der Vielzahl von Referenzklemmen (3) durch die Zentralklemme (4) und Bestimmen der Abstände, die sie voneinander trennen, ebenso wie der Abstand, der sie von der Zentralklemme (4) trennt;
- Festsetzen eines zweidimensionalen oder XY- Bezugssystems, das für die Lokalisierung der Personen (1) verwendet wird, durch die Zentralklemme (4);
- Bestimmen und Filtern einer geschlossenen Umgrenzung (2) des potenziell gefährlichen Bereichs, genannt "roter Bereich" (9), wobei die geschlossene Umgrenzung (2) als Polygon definiert ist, d. h. als eine Gesamtheit von Punkten oder Spitzen, die durch Strecken oder Seiten verbunden sind;
- Bestimmen einer Umgrenzung eines Bereichs, der sich im Inneren des roten Bereichs (9) befindet, die einen Bereich, genannt "orangefarbener Bereich" (8), definiert, wobei der Bereich, der sich im Inneren der Umgrenzung befindet, die den orangefarbenen Bereich begrenzt, der als Sicherheitsbereich für Personen oder "grüner Bereich" (7) definiert ist, wobei die vorhergehenden Schritte Konfigurationsschritte sind;
- in Betrieb, Ausstatten jeder Person (1), die veranlasst ist, sich im potenziell gefährlichen Bereich zu befinden, mit einem Tag (6);
- Periodisches Abfragen der Gesamtheit von Tags (6) durch die Zentralklemme (4), Bestimmen ihrer Position im XY-Bezugssystem, um jeder dieser Positionen eine Lokalisierung entweder im grünen Bereich (7), im orangefarbenen Bereich (8) oder im roten Bereich (9) zuzuweisen;
- wenn sich eines der Tags (6) im orangefarbenen (8) oder roten (9) Bereich befindet, Betätigen, durch die Zentralklemme (4), der Warnmittel, die mit dem Tag (6) assoziiert sind, und optional Betätigen eines der Warnmittel, die mit den anderen Tags (6) assoziiert sind;
- beim Schritt des Bestimmens der Position der Tags (6) im XY-Bezugssystem, um jeder dieser Positionen eine Lokalisierung entweder im grünen Bereich (7), im orangefarbenen Bereich (8) oder im roten Bereich (9) zuzuweisen, wird jedes Tag (6) in Bezug auf mindestens ein paar Anker (i, j; i, j = 1, 2, ...) positioniert, woraus sich zwei mögliche Positionen T1, T2 (61, 62) für das Tag (6) ergeben, wobei die gewählte Position dank einer Wahl bestimmt wird, die auf der Verwendung der anderen Anker k (wobei k verschieden von i, j ist) basiert, wobei eine Bewertung jeder möglichen Position T1, T2 (61, 62) zugeordnet wird, indem die Differenz zwischen dem Abstand Tag-Anker k oder  $d_k$  und jedem der Abstände vom Anker k und den möglichen Positionen T1, T2 (61, 62) berechnet wird, wobei die geringste Differenz die Erhöhung der Bewertung für die entsprechende mögliche Position T1, T2 (61, 62) verursacht, wobei die am Ende höchste Bewertung die gewählte Position unter den zwei möglichen Positionen ergibt;
- Bestimmen, ob sich das Tag (6) innerhalb bzw. außerhalb des Polygons befindet, welches die geschlossene Umgrenzung (2) bildet, indem eine horizontale Gerade, die durch das Tag verläuft, gezogen wird, und die Anzahl von Malen, die diese Gerade die Umgrenzung (2) rechts vom Tag (6) schneidet, überprüft wird, wobei sich das Tag (6) innerhalb der Umgrenzung befindet, wenn die Anzahl von Überschneidungen ungerade ist, wobei sich das Tag (6) außerhalb der Umgrenzung befindet, wenn die Anzahl von Überschneidungen gerade ist;

**dadurch gekennzeichnet, dass** die Position und der Positionsfehler eines Tags (xt, yt)(ij) in Bezug auf eine Vielzahl von Ankerpaaren i, j (i, j = 1, 2, ...) gemäß den folgenden Schritten geschätzt werden:

- eine Heuristik, die auf Statistiken von Abstandsmessungen zwischen dem Tag und den Ankern i und j, jeweils aufgezeichnet als  $d_i$  und  $d_j$ , basiert, wird derart verwendet, dass ein Fehler  $\Delta d_i$  und ein Fehler  $\Delta d_j$  geschätzt werden, wobei  $\Delta d$  mindestens gleich  $\Delta d_{\text{Accuracy}} + \Delta d_{\text{Power}}$  ist, wobei  $\Delta d_{\text{Accuracy}}$  die beste Präzision ist, die man erwarten kann, und  $\Delta d_{\text{Power}}$  mit der Leistung verbunden ist, die vom "first path" erhalten wird;
- die Berechnung der Positionierung des Tags in Bezug auf die Anker i, j wird viermal durchgeführt, wobei die Messungen von  $d_i$  und  $d_j$  auf die folgende Weise beeinträchtigt werden:

$$d_i \rightarrow d_i \pm \Delta d_i ,$$

5

$$d_j \rightarrow d_j \pm \Delta d_j ;$$

- es werden 4 beeinträchtigte Positionen  $(x_t + \Delta x(k), y_t + \Delta y(k))(ij)$  erhalten, wobei k von 0 bis 3 variiert;
- die Positionsfehler von  $x_t(ij)$  und  $y_t(ij)$  werden wie folgt berechnet:

10

$$\Delta x_t(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta x(k))^2} ,$$

15

$$\Delta y_t(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta y(k))^2} ;$$

- ein Gewichtungsgesetz wird wie folgt angewendet, um Zuverlässigkeiten zu erhalten:

20

$$P_{xt}(ij) = \frac{1}{\Delta x_t(ij)^2} ,$$

25

$$P_{yt}(ij) = \frac{1}{\Delta y_t(ij)^2} ;$$

- die Gewichtungen werden in abnehmender Reihenfolge klassifiziert, und es wird eine vorbestimmte Anzahl der höchsten Gewichtungen gewählt, um die Anker zu beseitigen, die größere Fehler erzeugen;
- die oben angegebenen Zuverlässigkeiten werden normalisiert, damit die Summe 1 ergibt, d. h.:

30

$$p_{xt}(ij) = \frac{P_{xt}(ij)}{\sum_{kl} P_{xt}(kl)} ,$$

35

$$p_{yt}(ij) = \frac{P_{yt}(ij)}{\sum_{kl} P_{yt}(kl)} ;$$

40

- die Schätzung der Position des Tags  $(x_t, y_t)$  ist:

$$x_t = \sum_{ij} p_{xt}(ij) x_t(ij) ,$$

45

$$y_t = \sum_{ij} p_{yt}(ij) y_t(ij) ;$$

- die Schätzung des Fehlers bezüglich der Position des Tags  $(x_t, y_t)$  wird somit jeweils in x und y wie folgt berechnet:

50

$$e_{xt} = \sum_{ij} p_{xt}(ij) \Delta x_t(ij) ,$$

55

$$e_{yt} = \sum_{ij} p_{yt}(ij) \Delta y_t(ij) ;$$

und dadurch, dass bei der Festsetzung des XY-Bezugssystems der erste Anker (10) und der zweite Anker (20) willkürlich den entsprechenden Koordinaten (0, 0) sowie (d, 0) zugewiesen werden, wobei d der Abstand ist, der

zwischen den zwei Ankern gemessen wird, der dritte Anker (30) ausgehend von den zwei oben angegebenen Ankern (10, 20) lokalisiert wird, indem die Überschneidung von zwei Kreisen basierend auf den jeweiligen Abständen des dritten Ankers (30) in Bezug auf die zwei oben angegebenen Anker (10, 20) verwendet wird, wobei eine der zwei möglichen Überschneidungen als Position des dritten Ankers (30) gewählt ist, wobei die gewählte Position willkürlich bestimmt wird, wobei die folgenden Anker (40, ...) ausgehend von den drei ersten Ankern (10, 20, 30) durch Verwendung eines Trilaterationsalgorithmus lokalisiert werden, wobei der dritte Anker (30) unter allen restlichen Ankern unbekannter Position gewählt wird, so dass die Summe der Fehler  $\text{ext} + \text{eyt}$  die geringste für diesen Anker ist, wobei die Position der folgenden Anker dann bestimmt wird, indem der Anker jedesmal derart gewählt wird, dass die Summe der Fehler  $\text{ext} + \text{eyt}$  die geringste für diesen Anker ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umgrenzung (2, 50) des roten Bereichs (9) bestimmt wird:

- entweder durch Verwendung einer Lokalisierung der Referenzklemmen (3) im XY-Bezugssystem, wobei die Lokalisierung auf einem Touchscreen angezeigt ist, der mit der Zentralklemme (4) assoziiert ist, und indem die Umgrenzung (2, 50) auf dem Touchscreen in Form des oben angegebenen Polygons gezogen wird;
- oder durch Verwenden eines Geräts, bezeichnet als "Nachverfolger" (5), das mit der Zentralklemme (4) und den Referenzklemmen (3) kommuniziert, wobei die Zentralklemme (4) periodisch den Nachverfolger (5) abfragt, wenn er in dem Bereich verschoben wird, und die entsprechenden Abstände anfordert, die ihn von den Referenzklemmen (3) trennen, wodurch der Zentralklemme (4) ermöglicht wird, die aufeinanderfolgenden Positionen des Nachverfolgers im XY-Bezugssystem zu bestimmen und die Umgrenzung (2, 50) zu ziehen, indem diese Positionen durch Liniensegmente verbunden werden, um das oben angegebene Polygon zu erzeugen;
- oder durch geometrische Lokalisierung, ausgehend von den Positionen einer Vielzahl von Referenzklemmen (3) im XY-Bezugssystem und durch Anwendung einer Homothetie, um eine Umgrenzung (2, 50) zu definieren, die das Polygon, welches durch die Referenzklemmen erzeugt wird, einschließt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umgrenzung des orangefarbenen Bereichs (8) ausgehend von der Umgrenzung (2) des roten Bereichs (9) bestimmt wird, indem ein inneres Polygon durch Homothetie erzeugt wird, wobei der Abstand, welcher dem Rückzug entspricht, zwischen 50 cm und 1 m liegt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Filterung der geschlossenen Umgrenzung (2) des potenziell gefährlichen Bereichs, bei der die Spitzen des Polygons als  $(x_0, y_0)$ ,  $(x_1, y_1)$  etc. aufgezeichnet sind, gemäß den folgenden Schritten durchgeführt wird,:

- Wählen eines Punkts  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 0, 1, 2 \dots$ ;
- Wählen der Gesamtheit der Punkte  $(x_j, y_j)$ ,  $j = 1 \dots N_j$ ,  $j$  verschieden von  $i$ , die sich im Inneren eines Kreises mit einem gegebenen Durchmesser  $2d$ , der in  $(x_i, y_i)$  zentriert ist, befinden;
- Bestimmen eines Punkts der gefilterten Umgrenzung  $f_i(x_{fi}, y_{fi})$  durch Berechnung eines Durchschnittswerts der Positionen der Punkte  $(x_j, y_j)$ ;
- Markieren der Punkte  $N_j(x_j, y_j)$ , damit sie nicht mehr als Ausgangspunkt dienen können;
- Suchen eines neuen Punkts  $(x_i, y_i)$ , als Punkt, der am nächsten an  $(x_{fi}, y_{fi})$  ist, unter den restlichen, nicht markierten Punkten;
- Wiederbeginnen des zweiten Schritts mit dem neuen Punkt  $(x_i, y_i)$ , und so weiter.

5. System zum individuellen oder kollektiven Schutz von Personen (1), die sich in einem potenziell gefährlichen Bereich befinden, das mindestens die folgenden Vorrichtungen umfasst:

- eine Vielzahl von Referenzklemmen oder Ankern (3), davon eine Zentralklemme (4), die in dem Bereich verteilt sind, wobei die Anker (3, 4) auf bidirektionale Weise untereinander kommunizieren und dazu in der Lage sind, den Abstand, der sie voneinander trennt, mit einer Präzision zu messen, die mindestens gleich einem vorbestimmten Wert ist;
- eine automatisierte Einheit zum Festsetzen eines zweidimensionalen oder XY-Bezugssystems, die konfiguriert ist, um, ausgehend von den Abständen, gemessen zwischen den Ankern (3, 4), zunächst drei Ankern (10, 20, 30) eine Position im XY-Bezugssystem zuzuweisen, so dass die Position des dritten Ankers (30) willkürlich ausgehend von den Positionen des ersten Ankers (10) und des zweiten Ankers (20), sowie von den jeweiligen Abständen zwischen dem dritten Anker (30) mit dem ersten Anker (10) und dem zweiten Anker (20) bestimmt wird, und um dann die anderen Anker (40, ...) in diesem XY-Bezugssystem durch ein Trilaterationsverfahren zu lokalisieren;

- mindestens einen mobilen Sender-Empfänger, genannt Tag oder Marker (6), der von einer Person (1) getragen wird und dazu in der Lage ist, mindestens mit der Zentralklemme (4) und mit anderen Tags (6) bidirektional zu kommunizieren, wobei das Tag (6) mit Warnmitteln ausgestattet ist, die von der Zentralklemme (4) betätigt werden können;

- eine Einheit (5) zum Erzeugen eines Polygons, das eine geschlossene Umgrenzung (2) des potenziell gefährlichen Bereichs bildet, ausgehend von der Position der Anker (3), nachdem sie im oben angegebene XY-Bezugssystem lokalisiert wurden, wobei die Umgrenzung (2) dazu bestimmt ist, mindestens einen Bereich zu definieren, in dem die Anwesenheit einer Person (1) die Betätigung der Warnmittel, die mit dem Tag (6) assoziiert sind, durch die Zentralklemme (4) verursacht;

- eine automatisierte Einheit zur Positionierung der Tags im XY-Bezugssystem und in Bezug auf die geschlossene Umgrenzung (2), die konfiguriert ist, um jedes Tag (6) in Bezug auf mindestens ein Paar Anker (i, j; i, j = 1, 2, ...) zu positionieren, woraus sich zwei mögliche Positionen T1, T2 (61, 62) für das Tag (6) ergeben, wobei die gewählte Position dank einer Wahl bestimmt wird, die auf der Verwendung der anderen Anker k (wobei k verschieden von i, j ist) basiert, wobei eine Bewertung jeder möglichen Position T1, T2 (61, 62) zugeordnet wird, indem die Differenz zwischen dem Abstand Tag-Anker k oder dk und jedem der Abstände zwischen dem Anker k und den möglichen Positionen T1, T2 (61, 62) berechnet wird, wobei die geringste Differenz die Erhöhung der Bewertung für die entsprechende mögliche Position T1, T2 (61, 62) verursacht, wobei die am Ende höchste Bewertung die gewählte Position unter den zwei möglichen Positionen T1, T2 (61, 62) ergibt; wobei die oben angegebene automatisierte Einheit auch konfiguriert ist, um zu bestimmen, ob sich das Tag (6) innerhalb bzw. außerhalb des Polygons befindet, das die geschlossene Umgrenzung (2) bildet, indem eine horizontale Gerade gezogen wird, welche durch das Tag verläuft, und die Anzahl von Malen, die diese Gerade die Umgrenzung (2) rechts vom Tag (6) schneidet, überprüft wird, wobei sich das Tag (6) innerhalb der Umgrenzung befindet, wenn die Anzahl von Überschneidungen ungerade ist, wobei sich das Tag (6) außerhalb der Umgrenzung befindet, wenn die Anzahl von Überschneidungen gerade ist,

**dadurch gekennzeichnet, dass** die automatisierte Einheit zur Positionierung der Tags im XY-Bezugssystem und in Bezug auf die geschlossene Umgrenzung (2) konfiguriert ist, um die Position und den Positionsfehler eines Tags (xt, yt)(ij) in Bezug auf eine Vielzahl von Ankerpaaren i, j (i, j = 1, 2, ...) gemäß den folgenden Schritten zu schätzen:

- eine Heuristik, basierend auf Statistiken von Abstandsmessungen zwischen dem Tag und den Ankern i und j, jeweils aufgezeichnet als di und dj, wird derart verwendet, dass ein Fehler Δdi und ein Fehler Δdj geschätzt werden;

- die Berechnung der Positionierung des Tags wird viermal durchgeführt, wobei die Messungen bezüglich di und dj auf die folgende Weise beeinträchtigt werden:

$$di \rightarrow di \pm \Delta di ,$$

$$dj \rightarrow dj \pm \Delta dj ;$$

- es werden 4 beeinträchtigte Positionen (xt+Δx(k), yt+Δy(k))(ij) erhalten, wobei k von 0 bis 3 variiert;

- die Positionsfehler bezüglich xt(ij) und yt(ij) werden wie folgt berechnet:

$$\Delta xt(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta x(k))^2} ,$$

$$\Delta yt(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta y(k))^2} ;$$

- ein Gewichtungsgesetz wird wie folgt angewendet, um Zuverlässigkeiten zu erhalten:

$$Pxt(ij) = \frac{1}{\Delta xt(ij)^2} ,$$

$$P_{yt}(ij) = \frac{1}{\Delta_{yt}(ij)^2} ;$$

- die oben angegebenen Zuverlässigkeiten werden normalisiert, damit die Summe 1 ergibt, d. h.

$$p_{xt}(ij) = \frac{P_{xt}(ij)}{\sum_{kl} P_{xt}(kl)} ,$$

$$p_{yt}(ij) = \frac{P_{yt}(ij)}{\sum_{kl} P_{yt}(kl)} ;$$

- die Schätzung der Position des Tags (xt, yt) ist:

$$x_t = \sum_{ij} p_{xt}(ij) x_t(ij) ,$$

$$y_t = \sum_{ij} p_{yt}(ij) y_t(ij) ;$$

- die Schätzung des Fehlers bezüglich der Position des Tags (xt, yt) wird somit jeweils in x und y wie folgt berechnet:

$$ext = \sum_{ij} p_{xt}(ij) \Delta x_t(ij) ,$$

$$eyt = \sum_{ij} p_{yt}(ij) \Delta y_t(ij) .$$

und die automatisierte Einheit ist ebenfalls konfiguriert, damit bei der Festsetzung des XY-Bezugssystems der erste Anker (10) und der zweite Anker (20) willkürlich den entsprechenden Koordinaten (0, 0) sowie (d, 0) zugewiesen werden, wobei d der Abstand ist, der zwischen den zwei Ankern gemessen wird, wobei der dritte Anker (30) ausgehend von den zwei oben angegebenen Ankern (10, 20) lokalisiert wird, indem die Überschneidung von zwei Kreisen ausgehend von den jeweiligen Abständen des dritten Ankerns (30) in Bezug auf die zwei oben angegebenen Anker (10, 20) verwendet wird, wobei eine der zwei möglichen Überschneidungen als Position des dritten Ankerns (30) gewählt ist, wobei die gewählte Position willkürlich bestimmt wird, wobei die folgenden Anker (40, ...) ausgehend von den drei ersten Ankern (10, 20, 30) unter Verwendung eines Trilaterationsalgorithmus lokalisiert werden, wobei der dritte Anker (30) unter allen restlichen Ankern unbekannter Position gewählt wird, so dass die Summe der Fehler ext + eyt die geringste für diesen Anker ist, wobei die Position der folgenden Anker dann bestimmt wird, indem der Anker jedes Mal derart gewählt wird, dass die Summe der Fehler ext + eyt die geringste für diesen Anker ist.

6. System nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zentralklemme (4) in einem Koffer platziert ist, der mit einer Steuerung und Eingangs-/Ausgangsmittel ausgestattet ist, wobei die Eingangs-/Ausgangsmittel Druckknöpfe und einen Bildschirm, vorzugsweise einen Touchscreen, umfassen.
7. System nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Referenzklemmen (3) und die Zentralklemme (4) mit UWB-Radiosendern und/oder Ultraschallwandlern ausgestattet sind.
8. System nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Warnmittel leuchtende, akustische und/oder Vibrationsmittel sind.
9. System zum individuellen oder kollektiven Schutz von Personen nach Anspruch 5 (1), wobei der potenziell gefährliche Bereich drei Dimensionen (3D) umfasst:

- die Vielzahl von Referenzklemmen oder Ankern (3), davon eine Zentralklemme (4), die in dem Bereich verteilt sind, wobei die Anker (3, 4) auf bidirektionale Weise untereinander kommunizieren und dazu in der Lage sind,

den Abstand, der sie voneinander trennt, mit einer Präzision zu messen, die mindestens gleich einem vorbestimmten Wert ist;

- die automatisierte Einheit, die konfiguriert ist, um einen dreidimensionalen oder XYZ-Bezugssystem festzusetzen, und die konfiguriert ist, um, ausgehend von den gemessenen Abständen zwischen den Ankern (3, 4), zunächst vier Ankern (10, 20, 30, 40) mindestens teilweise willkürlich eine Position im XYZ-Bezugssystem zuzuweisen und dann die anderen Anker (40, ...) in diesem XY-Bezugssystem durch ein Trilaterationsverfahren zu lokalisieren;

- die automatisierte Einheit zur Positionierung des Tags im XYZ-Bezugssystem, die konfiguriert ist, um jedes Tag (6) in Bezug auf mindestens ein Triplet von Ankern ( $i, j, k$ ;  $i, j, k = 1, 2, \dots$ ) zu positionieren, woraus sich zwei mögliche Positionen T1, T2 (61, 62) für das Tag (6) durch Überschneidung von drei Sphären ergeben, wobei die gewählte Position dank einer Wahl bestimmt wird, die auf der Verwendung der anderen Anker l (wobei l verschieden von  $i, j, k$  ist) basiert, wobei eine Bewertung jeder möglichen Position T1, T2 (61, 62) zugeordnet wird, indem die Differenz zwischen dem Abstand Tag-Anker l oder dl und jedem der Abstände zwischen dem Anker l und den möglichen Positionen T1, T2 (61, 62) berechnet wird, wobei die geringste Differenz die Erhöhung der Bewertung für die entsprechende mögliche Position T1, T2 (61, 62) verursacht, wobei die höchste Bewertung schließlich die gewählte Position unter den zwei möglichen Positionen T1, T2 (61, 62) ergibt;

- die Einheit (5) zum Ziehen einer Umgrenzung (2) des potenziell gefährlichen Bereichs, die dazu bestimmt ist, die Umgrenzung ausgehend von der Position der Anker (3) zu ziehen, nachdem sie im oben angegebenen XYZ-Bezugssystem lokalisiert wurden, wobei die Umgrenzung (2) bestimmt ist, mindestens einen Bereich zu definieren, in dem die Anwesenheit einer Person (1) die Betätigung durch die Zentralklemme (4) der Warnmittel, die mit dem Tag (6) assoziiert sind, verursacht.

## Claims

1. A method for implementing a system for protecting persons individually or collectively (1) in a potentially dangerous area, comprising the following steps:

- the plurality of reference markers (3) are installed arbitrarily in the potentially dangerous area;
- the central marker (4) queries the plurality of reference markers (3) and determines the distances separating them from one another as well as the distance separating them from the central marker (4);
- the central marker establishes a two-dimensional or XY frame of reference that will be used to locate the persons (1);
- a closed border (2) of the potentially dangerous area, called red area (9), is determined and filtered, said closed border (2) being defined as a polygon, that is to say a set of points or apices connected by line segments or sides;
- a border of an area located inside the red area (9) is determined, defining a so-called orange area (8), the area located inside the border delimiting the orange area being defined as the safe area for the persons, or green area (7), the preceding steps being configuration steps;
- during operation, each person (1) that will be located in the potentially dangerous area is equipped with a tag (6);
- the central marker (4) periodically queries all of the tags (6), determines their position in the XY frame of reference to assign each of these positions a location either in the green area (7), in the orange area (8), or in the red area (9);
- if one of the tags (6) is located in the orange (8) or red (9) area, the central marker (4) actuates the warning means associated with said tag (6) and optionally actuates one of the warning means associated with the other tags (6);
- in the step for determining the position of the tags (6) in the XY frame of reference, in order to assign each of these positions a location either in the green area (7), in the orange area (8), or in the red area (9), each tag (6) is positioned relative to at least one pair of anchors ( $i, j$ ;  $i, j = 1, 2, \dots$ ), which gives two possible positions T1, T2 (61, 62) for the tag (6), the selected position being determined owing to a vote based on the use of the other anchors k ( $k$  different from  $i, j$ ), a score being assigned to each possible position T1, T2 (61, 62), by calculating the difference between the tag-anchor distance k, or dk, and each of the distances of the anchor k and the possible positions T1, T2 (61, 62), the smallest difference causing the incrementation of the score for the corresponding possible position T1, T2 (61, 62), the ultimate highest score giving the selected position among the two possible positions;
- it is determined whether the tag (6) is located inside, respectively outside, the polygon making up the closed border (2) by drawing a horizontal straight line passing through the tag and verifying the number of times that this line intersects the border (2) on the right-hand side of the tag (6), the tag (6) being located inside the border

if the number of intersections is odd, the tag (6) being located outside the border if the number of intersections is even;

**characterized in that** the position and the position error of a tag (xt, yt)(ij) relative to a plurality of pairs of anchors i, j (i, j = 1, 2, ...) are estimated according to the following steps:

- a heuristic based on distance-measuring statistics between tag and anchors i and j, respectively denoted di and dj, is used so as to estimate an error  $\Delta di$  and an error  $\Delta dj$ ,  $\Delta d$  being at least equal to  $\Delta d_{\text{Accuracy}} + \Delta d_{\text{Power}}$ , where  $\Delta d_{\text{Accuracy}}$  is the best precision that can be expected and  $\Delta d_{\text{Power}}$  is related to the power received from the "first path";
- the calculation of the position of the tag relative to the anchors i, j is carried out four times, disrupting the measurements on di and dj as follows:

$$di \rightarrow di \pm \Delta di ,$$

$$dj \rightarrow dj \pm \Delta dj ;$$

- 4 disrupted positions are obtained (xt+ $\Delta x(k)$ , yt+ $\Delta y(k)$ )(ij) with k varying from 0 to 3;
- the position errors on xt(ij) and yt(ij) are calculated as follows:

$$\Delta xt(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta x(k))^2} ,$$

$$\Delta yt(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta y(k))^2} ;$$

- a weighting law is applied as follows to obtain reliabilities;

$$Pxt(ij) = \frac{1}{\Delta xt(ij)^2} ,$$

$$Pyt(ij) = \frac{1}{\Delta yt(ij)^2} ;$$

- the weights are ranked by decreasing order and a predetermined number of the highest weights are retained, in order to remove the anchors that create significant errors;
- the aforementioned reliabilities are normalized so that their sum is equal to 1, that is to say:

$$pxt(ij) = \frac{Pxt(ij)}{\sum_{kl} Pxt(kl)} ,$$

$$pyt(ij) = \frac{Pyt(ij)}{\sum_{kl} Pyt(kl)} ;$$

- the estimate of the position of the tag (xt, yt) is:

$$xt = \sum_{ij} pxt(ij) xt(ij) ,$$

$$yt = \sum_{ij} pyt(ij) yt(ij) ;$$

- the estimate of the error on the position of the tag (xt, yt) is then respectively calculated in x and y by:

$$ext = \sum_{ij} pxt(ij) \Delta xt(ij) ,$$



$$eyt = \sum_{ij} pyt(ij) \Delta yt(ij) ;$$

and **in that**, during the establishment of the XY frame of reference, the first anchor (10) and the second anchor (20) are arbitrarily assigned to the respective coordinates (0, 0), and (d, 0), d being the distance measured between the two anchors, the third anchor (30) is located based on the two aforementioned anchors (10, 20) by using the intersection of two circles based on the respective distances of the third anchor (30) relative to the two aforementioned anchors (10, 20), one of the two possible intersections being chosen as position of the third anchor (30), the selected position being determined arbitrarily, the following anchors (40, ...) are located based on the first three anchors (10, 20, 30) by using a trilateration algorithm, the third anchor (30) being chosen among all of the remaining anchors of unknown position, such that the sum of the errors  $ext + eyt$  is lowest for this anchor, the position of the following anchors then being determined by selecting the anchor each time such that the sum of the errors  $ext + eyt$  is lowest for this anchor.

2. The method according to claim 1, **characterized in that** the border (2, 50) of the red area (9) is determined:

- either by using a location of the reference markers (3) in the XY frame of reference displayed on a touch-sensitive screen associated with the central marker (4) and by drawing said border (2, 50) on the touch-sensitive screen in the form of the aforementioned polygon;
- or by using an apparatus called tracer (5) that communicates with the central marker (4) and the reference markers (3), the central marker (4) periodically querying the tracer (5) when it is moved in the area and asking it for the respective distances separating it from the reference markers (3), which allows the central marker (4) to determine the successive positions of the tracer in the XY frame of reference and to create the border (2, 50) by joining these positions by line segments in order to create the aforementioned polygon;
- or by geometric location starting from positions of a plurality of reference markers (3) in the XY frame of reference and by applying an homothetic transformation to define a border (2, 50) that encompasses the polygon made by the reference markers.

3. The method according to claim 1, **characterized in that** the border of the orange area (8) is determined based on the border (2) of the red area (9) by creating an inner polygon through homothetic transformation, the distance corresponding to the pullback being between 50 cm and 1 m.

4. The method according to claim 1, **characterized in that** the filtering of the closed border (2) of the potentially dangerous area, whereof the apices of the polygon are denoted (x0, y0), (x1, y1), etc., is done, according to the following steps:

- selecting a point (xi, yi),  $i = 0, 1, 2, \dots$ ;
- selecting all of the points (xj, yj),  $j = 1 \dots Nj$ , j different from i, which are inside a circle of given diameter 2d, centered on (xi, yi);
- determining a point of the filtered border fi (xfi, yfi) by obtaining an average of the positions of said points (xj, yj);
- marking the Nj point (xj, yj) as no longer being able to serve as starting point;
- among the remaining unmarked points, looking for a new point (xi, yi) as being the closest to (xfi, yfi);
- with the new point (xi, yi), starting again in the second step, and so forth.

5. A system for protecting persons individually or collectively (1) located in a potentially dangerous area, comprising at least the following devices:

- a plurality of reference markers or anchors (3) including a central marker (4), distributed in said area, said anchors (3, 4) communicating by two-way communication with one another, and being capable of measuring the distance that separates them from one another with a precision at least equal to a predetermined value;
- an automated unit for establishing a two-dimensional or XY frame of reference configured in order, based on the distances measured between the anchors (3, 4), to first assign a position in the XY frame of reference, to three anchors (10, 20, 30), such that the position of the third anchor (30) is determined arbitrarily based on positions of the first anchor (10) and the second anchor (20), as well as the respective distances between the third anchor (30) and the first anchor (10) and the second anchor (20), and to next locate the other anchors (40, ...) in this XY frame of reference through a trilateration method;
- at least one mobile transceiver, called tag or beacon (6), worn by a person (1) and capable of communicating by two-way communication at least with the central marker (4) and with other tags (6), said tag (6) being provided

with danger-warning means that can be actuated by the central marker (4);

- a unit (5) for drawing a polygon making up a closed border (2) of the potentially dangerous area based on the position of the anchors (3) once located in the aforementioned XY frame of reference, said border (2) being intended to define at least one area in which the presence of a person (1) causes the central marker (4) to actuate the danger-warning means associated with the tag (6);

- an automated unit for positioning the tags in the XY frame of reference and relative to the closed border (2), configured to position each tag (6) relative to at least one pair of anchors (i, j; i, j = 1, 2, ...), which gives two possible positions T1, T2 (61, 62) for the tag (6), the selected position being determined owing to a vote based on the use of the other anchors k (k different from i, j), a score being assigned to each possible position T1, T2 (61, 62), by calculating the difference between the tag-anchor k distance, or dk, and each of the distances between the anchor k and the possible positions T1, T2 (61, 62), the smallest difference causing the incrementation of the score for the corresponding possible position T1, T2 (61, 62), the ultimate highest score giving the selected position among the two possible positions T1, T2 (61, 62); said aforementioned automated unit being also configured to determine whether the tag (6) is located inside, respectively outside, the polygon making up the closed border (2) by drawing a horizontal straight line passing through the tag and by verifying the number of times this line intersects the border (2) on the right-hand side of the tag (6), the tag (6) being located inside the border if the number of intersections is odd, the tag (6) being located outside the border if the number of intersections is even,

**characterized in that** the automated unit for positioning the tags in the XY frame of reference and relative to the closed border (2) is configured to estimate the position and the position error of a tag (xt, yt)(ij) relative to a plurality of pairs of anchors i, j (i, j = 1, 2, ...) according to the following steps:

- a heuristic based on distance-measuring statistics between tag and anchors i and j, respectively denoted di and dj, is used so as to estimate an error  $\Delta di$  and an error  $\Delta dj$ ;

- the calculation of the position of the tag is carried out four times, by disrupting the measurements on di and dj as follows:

$$di \rightarrow di \pm \Delta di ,$$

$$dj \rightarrow dj \pm \Delta dj ;$$

- 4 disrupted positions (xt+ $\Delta x(k)$ , yt+ $\Delta y(k)$ )(ij) are obtained with k varying from 0 to 3;

- the position errors on xt(ij) and yt(ij) are calculated as follows:

$$\Delta xt(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta x(k))^2} ,$$

$$\Delta yt(ij) = \sqrt{\sum_{k=0}^3 (\Delta y(k))^2} ;$$

- a weighting law is applied as follows to obtain reliabilities:

$$Pxt(ij) = \frac{1}{\Delta xt(ij)^2} ,$$

$$Pyt(ij) = \frac{1}{\Delta yt(ij)^2} ;$$

- the aforementioned reliabilities are normalized so that their sum is equal to 1, that is to say:

$$pxt(ij) = \frac{Pxt(ij)}{\sum_{kl} Pxt(kl)} ,$$

$$pyt(ij) = \frac{Pyt(ij)}{\sum_{kl} Pyt(kl)} ;$$

- the estimate of the position of the tag (xt, yt) is:

$$xt = \sum_{ij} pxt(ij)xt(ij) ,$$

$$yt = \sum_{ij} pyt(ij)yt(ij) ;$$

- the estimate of the error on the position of the tag (xt, yt) is then respectively calculated in x and y by:

$$ext = \sum_{ij} pxt(ij)\Delta xt(ij) ,$$

$$eyt = \sum_{ij} pyt(ij)\Delta yt(ij) ;$$

and said automated unit is also configured so that, during the establishment of the XY frame of reference, the first anchor (10) and the second anchor (20) are assigned to the respective coordinates (0, 0), arbitrarily, and (d, 0), d being the distance measured between the two anchors, the third anchor (30) being located based on the two aforementioned anchors (10, 20) by using the intersection of two circles based on the respective distances of the third anchor (30) relative to the two aforementioned anchors (10, 20), one of the two possible intersections being chosen as position of the third anchor (30), the selected position being arbitrarily determined, the following anchors (40, ...) being located based on the first three anchors (10, 20, 30) by using a trilateration algorithm, the third anchor (30) being chosen among all of the remaining anchors of unknown position, such that the sum of the errors ext + eyt is lowest for this anchor, the position of the following anchors being then determined by selecting the anchor each time such that the sum of the errors ext + eyt is lowest for this anchor.

6. The system according to claim 5, **characterized in that** the central marker (4) is placed in a case provided with a controller and input/output means comprising pushbuttons and a screen, preferably a touch-sensitive screen.
7. The system according to claim 5, **characterized in that** the reference markers (3) and the central marker (4) are equipped with UWB radio transmitters and/or ultrasonic transducers.
8. The system according to claim 5, **characterized in that** the warning means are light, audio and/or vibrating means.
9. The system for protecting individually or collectively persons (1) according to claim 5, the potentially dangerous area comprising three dimensions (3D):

- the plurality of reference markers or anchors (3) including a central marker (4), distributed in said area, said anchors (3, 4) communicating with one another by two-way communication, and being able to measure the distance that separates them from one another with a precision at least equal to a predetermined value;

- the automated establishing unit being suitable for setting a three-dimensional or XYZ frame of reference, configured in order, based on the distances measured between the anchors (3, 4), to first assign a position in the XYZ frame of reference, at least partially arbitrarily, to four anchors (10, 20, 30, 40) and next to locate the other anchors (40, ...) in this XY frame of reference through a trilateration method;

- the automated unit for positioning the tags in the XYZ frame of reference, being configured to position each tag (6) relative to at least one triplet of anchors (i, j; k; i, j, k = 1, 2, ...), which gives two possible positions T1, T2 (61, 62) for the tag (6) by intersection of three spheres, the selected position being determined owing to a vote based on the use of the other anchors l (l different from i, j, k), a score being assigned to each possible position T1, T2 (61, 62), by calculating the difference between the tag-anchor distance l, or dl, and each of the distances between the anchor l and the possible positions T1, T2 (61, 62), the smallest difference causing the incrementation of the score for the corresponding possible position T1, T2 (61, 62), the ultimate highest score giving the selected position among the two possible positions T1, T2 (61, 62);

- the unit (5) for drawing a border (2) of the potentially dangerous area being suitable for drawing the border based on the position of the anchors (3) once located in the aforementioned XYZ frame of reference, said border (2) being intended to define at least one area in which the presence of a person (1) causes the central marker (4) to actuate the danger-warning means associated with the tag (6).

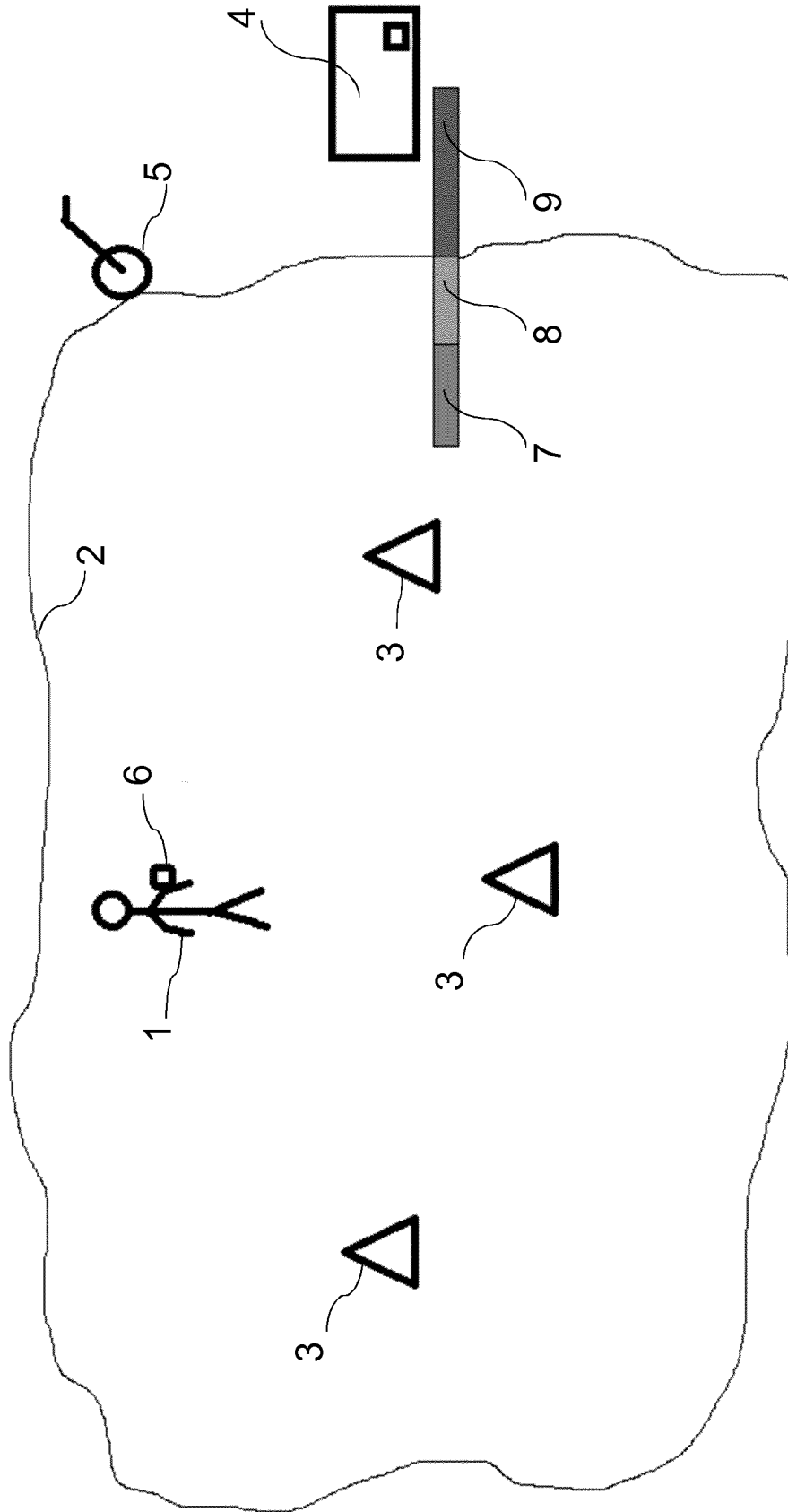


FIG.1

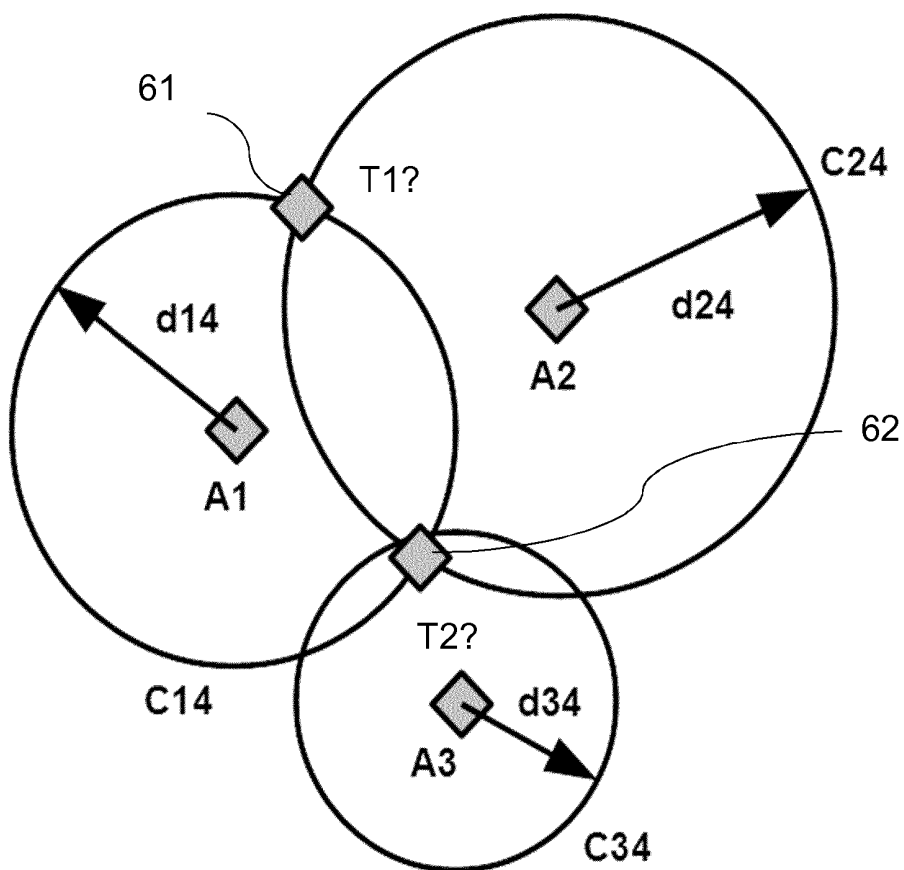


FIG.2

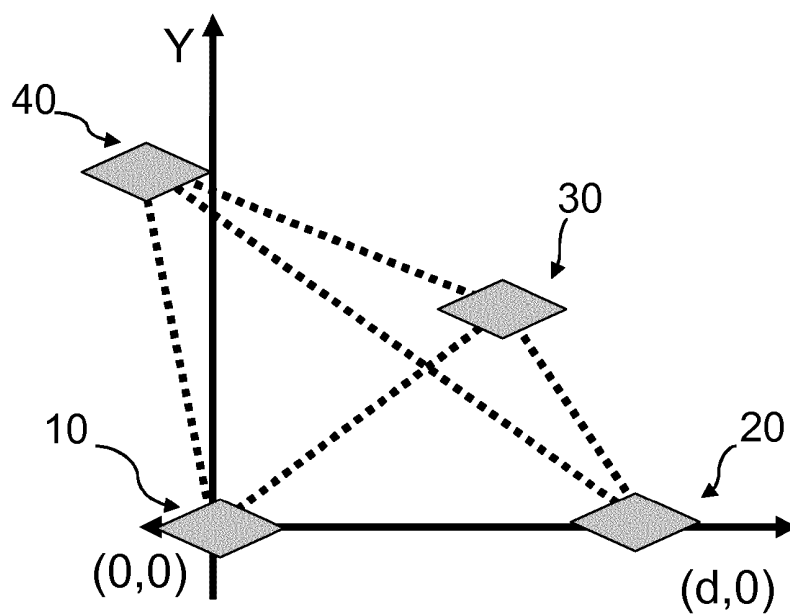


FIG. 4

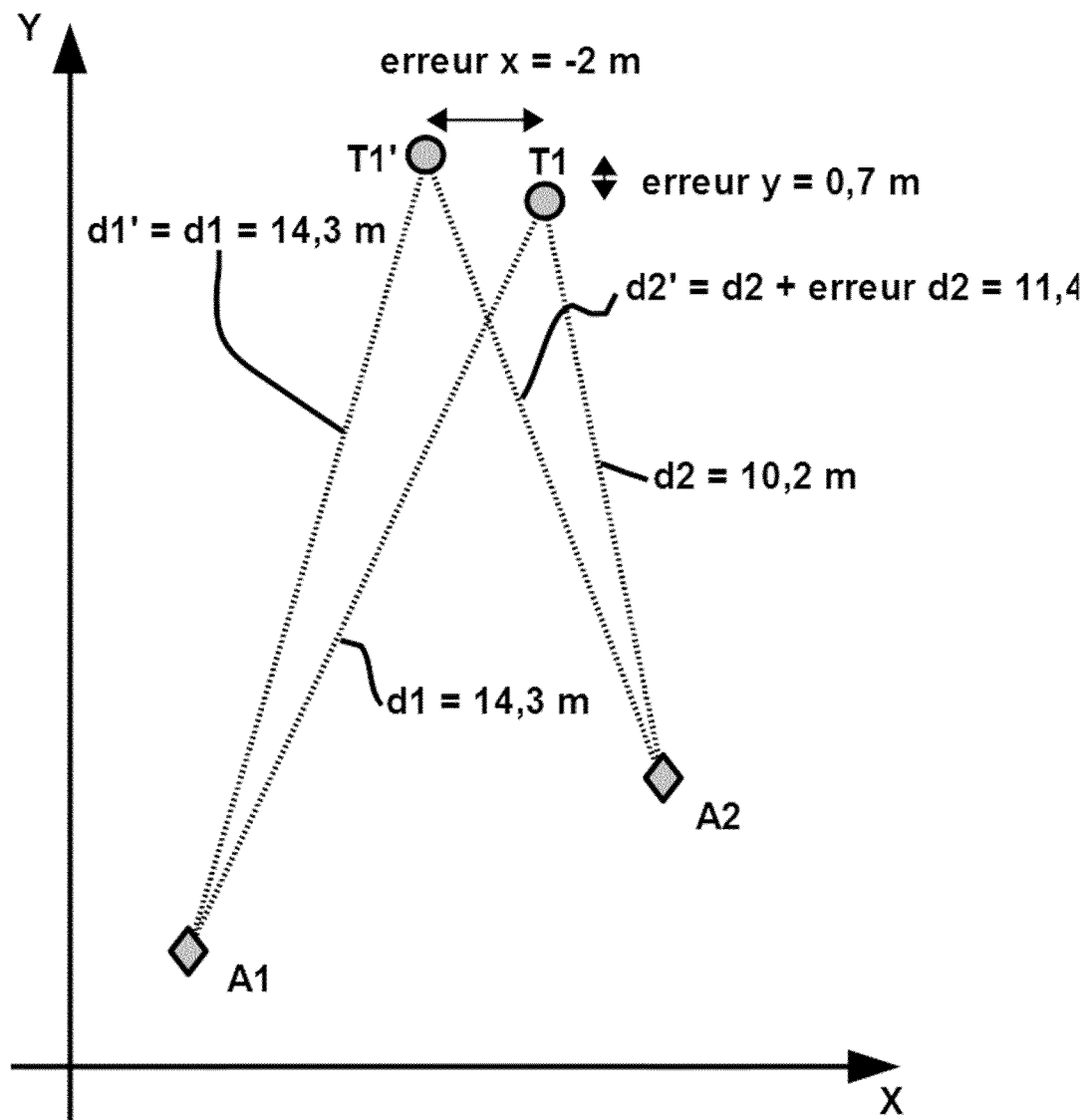


FIG. 3

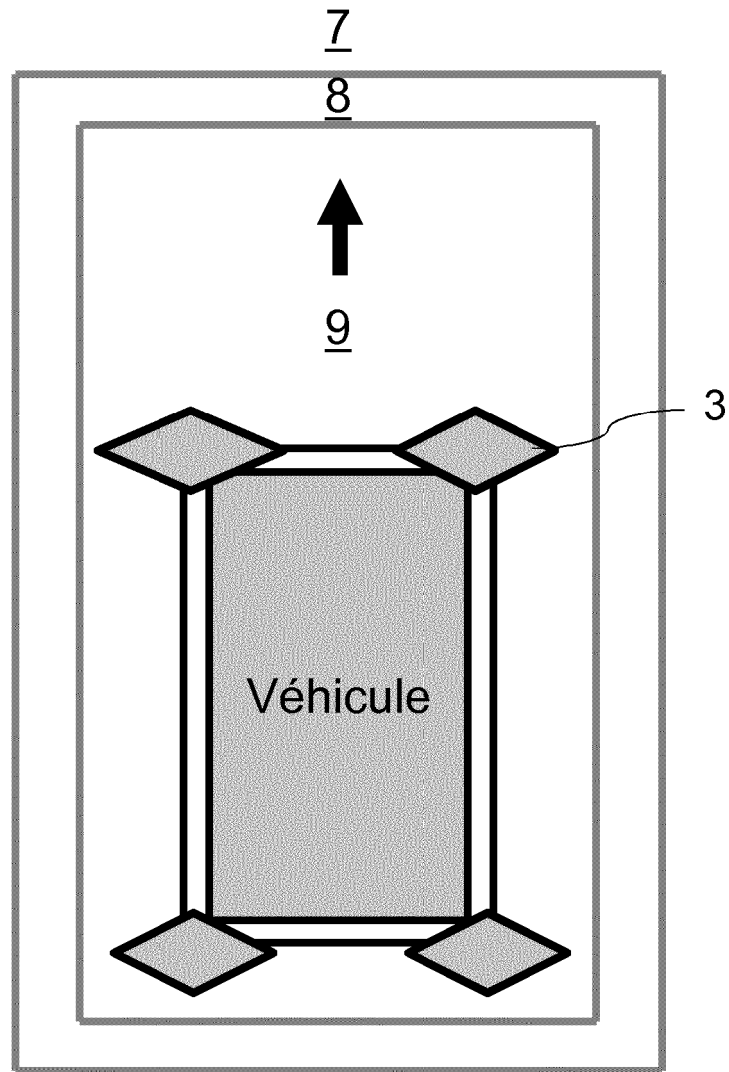


FIG.5

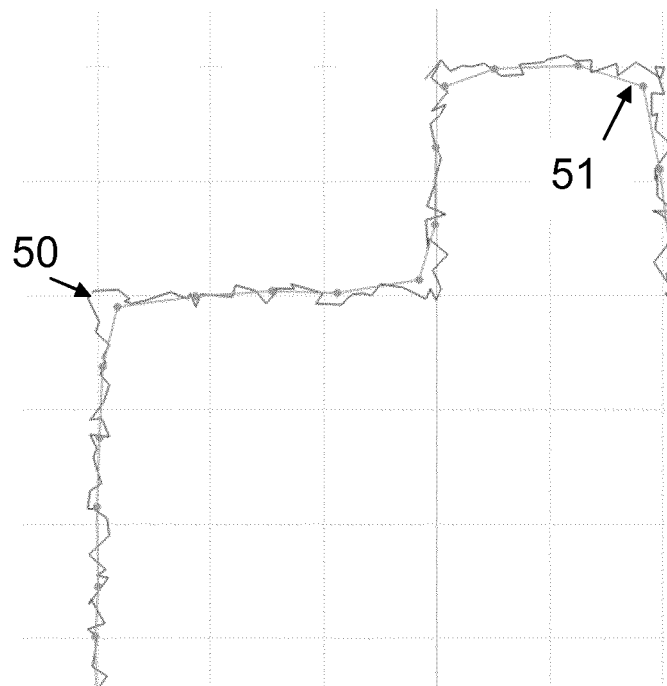


FIG. 6



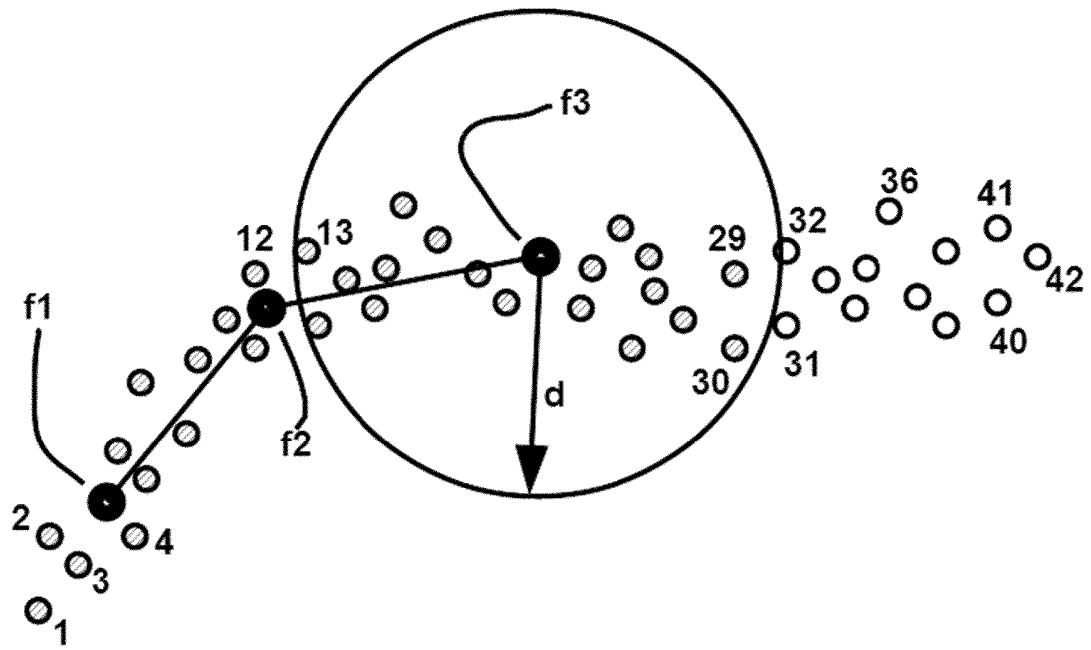


FIG. 7

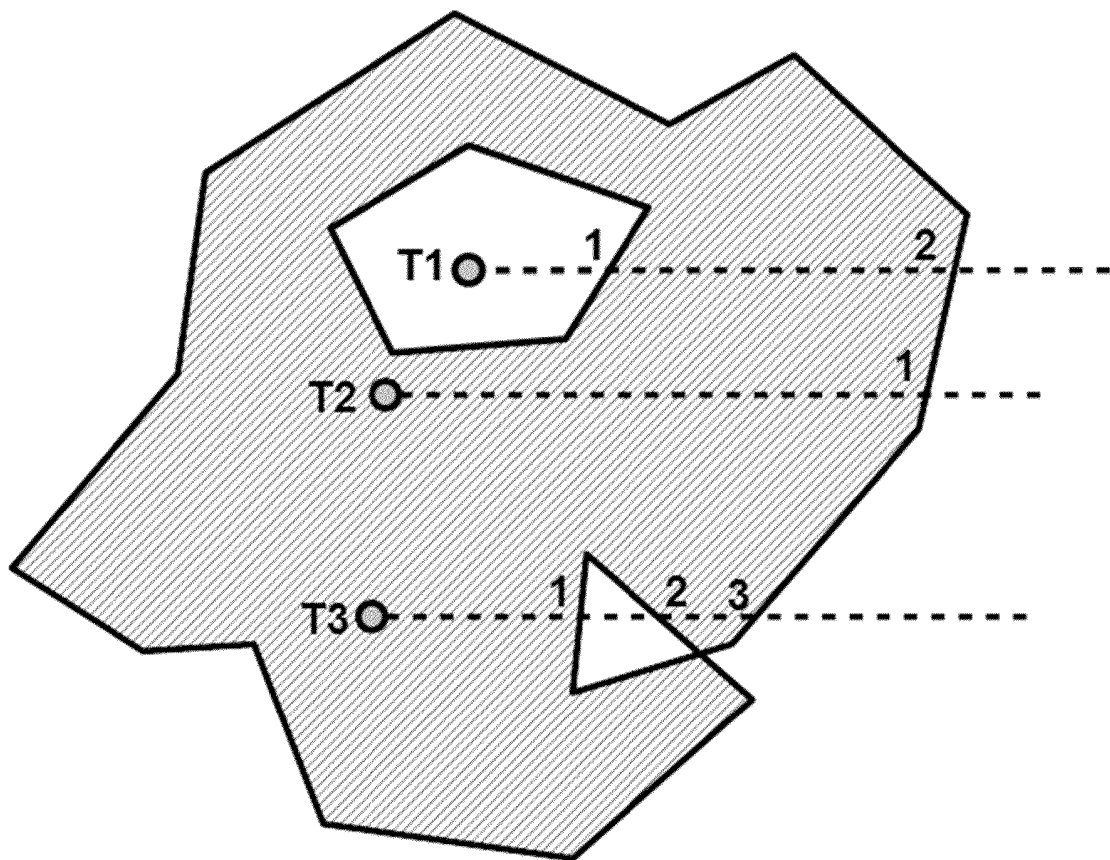


FIG. 8

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- GB 200816469 A [0003] [0005]
- CA 2709171 [0004] [0017]
- US 200810099 B [0005]
- CN 102768352 [0006]
- CN 202770989 U [0006]
- EP 2226646 A [0007]
- DE 202008005467 [0008]
- CN 101571406 [0009]
- IT 2004BA0059 [0010]
- US 2003122666 A [0011]
- WO 200398528 A [0012]
- US 20030052776 A [0013]
- BR 9000368 U [0014]
- EP 2282106 A [0015]
- KR 101258905 [0016]
- KR 20110017707 [0017]
- CA 2768054 [0018]
- US 2010017126 A [0019]
- JP 2009020847 B [0020]
- WO 2006085280 A [0021]
- US 2004087314 A [0022]
- US 20130180469 A [0023]
- US 20030179140 A [0024]
- US 20130324150 A [0025]