

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2023/083577 A1

(43) Date de la publication internationale
19 mai 2023 (19.05.2023)

(51) Classification internationale des brevets :

G08B 13/196 (2006.01) G05D 1/02 (2006.01)
H04N 7/18 (2006.01) G01C 21/00 (2006.01)

; 3 rue Michel Ange, 75016 PARIS (FR). **INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE** [FR/FR] ; Domaine de Voluceau, 78150 LE CHESNAY-ROCQUENCOURT (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2022/079206

(72) Inventeurs : **CONTASSOT-VIVIER, Sylvain** ; 12 rue Georges de la Tour, 54000 NANCY (FR). **DAUGE, Virgile** ; 27 rue Christian Pfister, 54000 NANCY (FR). **CIARLETTA, Laurent** ; 2 Square Domremy, 15 rue Jeanne D'Arc, 54000 NANCY (FR). **GUENARD, Adrien** ; 8 Rue des Myosotis, 54410 LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY (FR).

(22) Date de dépôt international :

20 octobre 2022 (20.10.2022)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

FR2111970 10 novembre 2021 (10.11.2021) FR

(74) Mandataire : **IPAZ** ; Bâtiment Platon, Parc les Algorithmes, 91190 SAINT-AUBIN (FR).

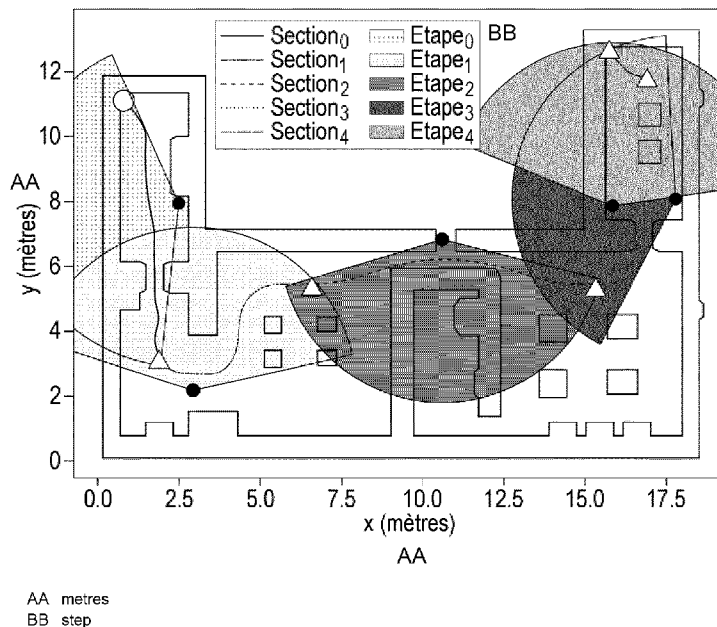
(71) Déposants : **UNIVERSITE DE LORRAINE** [FR/FR] ; 34 Cours Léopold, 54000 NANCY (FR). **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE** [FR/FR]

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING OPTIMISED POSITIONS OF AN OBJECT FOR TRACKING A PATH IN A SIMULATED ENVIRONMENT

(54) Titre : PROCÉDÉ POUR DÉTERMINER DES POSITIONS OPTIMISÉES D'UN OBJET POUR LE SUIVI D'UNE TRAJECTOIRE DANS UN ENVIRONNEMENT SIMULÉ.

[Fig. 10]



(57) Abstract: The invention relates to a method for determining optimised positions of at least one object provided with a field of view for tracking a path in a simulated environment comprising obstacles, the field of view comprising a source, a range and an aperture angle. The method is implemented by a computer and comprises the following steps: a) selecting a set of candidate positions; b) for each candidate position, constructing a local field of view placed at this candidate position and oriented to encompass as large a segment as possible; c) assigning a score to each candidate position; and d) travelling along the main path, segment by segment, selecting for each segment a candidate position having the highest score.

[Suite sur la page suivante]



WO 2023/083577 A1

AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
 - en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.
-

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé pour déterminer des positions optimisées d'au moins un objet doté d'un champ de vision pour le suivi d'une trajectoire dans un environnement simulé comprenant des obstacles, le champ de vision comprenant une source, une portée et un angle d'ouverture. Le procédé est mis en oeuvre par un ordinateur et comprend les étapes suivantes : a) sélection d'un ensemble de positions candidates, b) pour chaque position candidate, construction d'un champ de vision local placé à cette position candidate et orienté de façon à englober un segment le plus grand possible, c) affectation d'un score à chaque position candidate, d) parcours de la trajectoire principale segment par segment en sélectionnant pour chaque segment une position candidate ayant un score le plus élevé.

DESCRIPTION

TITRE : Procédé pour déterminer des positions optimisées d'un objet pour le suivi d'une trajectoire dans un environnement simulé.

5 La présente invention concerne un procédé pour déterminer des positions optimisées d'au moins un objet doté d'un champ de vision pour le suivi d'une trajectoire dans un environnement simulé comprenant des obstacles, le champ de vision pouvant être défini par une source, une portée et un angle d'ouverture.

10

L'invention s'applique notamment dans le domaine de géolocalisation précise dans des zones non couvertes par les systèmes classiques (GPS, signaux radio, amers visuels...) telles que les intérieurs de bâtiments, les mines, mais aussi les autres planètes, qui posent des difficultés majeures pour
15 les tâches d'exploration et/ou de surveillance/maintenance.

D'une façon générale, un modèle de l'environnement est disponible ou conçu de façon à faire apparaître des passages et des éléments fixes comme par exemple des parois, murs, poteaux, Il peut s'agir d'un modèle fini ou encore à élaborer. Une trajectoire peut être prédéfinie dans l'environnement
20 pour une mission d'exploration à travers des passages en évitant tout obstacle. Pour ce faire, il est prévu de positionner l'objet sur différents emplacements dans l'environnement pour un suivi efficace d'un élément mobile se déplaçant sur la trajectoire.

25 La présente invention a pour but de déterminer des emplacements optimisés pour positionner l'objet.

Un autre but de l'invention est de minimiser le temps de calcul pour déterminer ces emplacements.

L'invention a encore pour but la détermination d'un nombre minimum
30 d'emplacements permettant de couvrir l'ensemble de la trajectoire.

On atteint au moins l'un des objectifs précités avec un procédé pour déterminer des positions optimisées d'au moins un objet doté d'un champ de vision pour le suivi d'une trajectoire dans un environnement simulé comprenant
35 des obstacles, le champ de vision comprenant une source, une portée et un angle d'ouverture.

Selon l'invention, le procédé est mis en œuvre par un ordinateur et comprend les étapes suivantes :

- a) sélection d'un ensemble de positions candidates,
- b) pour chaque position candidate, construction d'un champ de vision local placé à cette position candidate et orienté suivant les étapes suivantes :
 - b1) définition de deux vecteurs positionnés à la position candidate et orientés vers un premier point d'un segment de la trajectoire principale, ce premier point étant à la portée de l'objet lorsque l'objet est placé à la position candidate,
 - b2) balayage point par point du segment ; à chaque nouveau point balayé du segment, les vecteurs pointent vers deux points balayés les plus écartés vis-à-vis de la position candidate,
 - b3) fin de balayage lorsqu'un nouveau point balayé est considéré non valide ; un point balayé étant considéré non valide lorsque ce point balayé se trouve hors de portée ou l'angle formé par les deux vecteurs est supérieur à l'angle d'ouverture du champ de vision ou un obstacle se trouve dans le triangle formé par la position candidate, le précédent point balayé et le nouveau point balayé ; le champ de vision local étant défini par la portée du champ de vision et un angle d'ouverture formé par les deux vecteurs pour le dernier point balayé valide,
- c) affectation d'un score à chaque position candidate,
- d) construction globale des positions optimisées en réalisant les étapes suivantes :
 - d1) à partir d'une extrémité de la trajectoire principale, détermination d'une position candidate ayant le score le plus élevé parmi un ensemble de positions candidates ayant un champ de vision local couvrant ledit point de départ ; le champ de vision local de la position candidate ainsi déterminée couvrant un segment de la trajectoire principale,
 - d2) application successive de l'étape précédente sur le reste de la trajectoire principale jusqu'à ce qu'un champ de vision local couvre une autre extrémité de la trajectoire principale,
 - d3) sauvegarde de l'ensemble des positions candidates ainsi déterminées comme étant les positions optimisées pour le placement dudit objet.

Le procédé selon l'invention permet, pour des positions candidates, d'orienter des champs de vision locaux de façon efficace. La construction globale permet de retenir un minimum de position pour couvrir l'ensemble de la trajectoire. De ce fait, un mobile se déplaçant le long de la trajectoire principale peut totalement être suivi depuis les positions optimisées. Selon 5 l'invention, il est prévu d'avoir plusieurs objets, chacun disposé à une position optimisée, ou bien d'avoir au moins un objet apte à se déplacer sur plusieurs positions optimisées en fonction du déplacement dudit mobile sur la trajectoire.

Le champ de vision peut être formalisé sous la forme d'un secteur 10 circulaire, c'est-à-dire un secteur de disque défini par un angle d'ouverture et un rayon égal à la portée de l'objet.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, l'étape a) de sélection d'un ensemble de positions candidates peut comprendre les étapes 15 suivantes :

- détermination d'une zone de détection optimisée le long de la trajectoire principale, cette zone étant délimitée par une trajectoire virtuelle gauche, dite sentier gauche, et une trajectoire virtuelle droite, dite sentier droit, les deux trajectoires virtuelles étant à une distance fixe de la trajectoire 20 principale,

- pour tout point de la trajectoire principale, détermination d'une position candidate disposée perpendiculairement à la trajectoire principale et située sur le sentier gauche ou à une distance minimale de sécurité d'un obstacle si cet obstacle se trouve entre le sentier gauche et le point de la trajectoire principale,

- pour tout point de la trajectoire principale, détermination d'une position candidate disposée perpendiculairement à la trajectoire principale et située sur le sentier droit ou à une distance minimale de sécurité d'un obstacle si cet obstacle se trouve entre le sentier droit et le point de la trajectoire principale. 25

Par distance minimale de sécurité, on entend une distance minimale 30 déterminée en fonction de la taille de l'élément qui doit suivre la trajectoire. De préférence, les sentiers gauche et droit sont ainsi contraints non pas directement par les obstacles mais par des zones de sécurité autour des obstacles.

La perpendiculaire à la trajectoire est déduite de la tangente approchée 35 de la trajectoire principale, et correspond à la normale à la trajectoire au point considéré.

Avec l'invention, l'ensemble des positions candidates peut être positionné sur des sentiers gauche et droite adaptés. Ces sentiers permettent de garantir le fait que l'objet sera placé majoritairement à une même distance optimisée pour le suivi d'un mobile sur la trajectoire.

5

En complément notamment de tout ce qui précède, la distance entre la trajectoire principale et le sentier gauche ou le sentier droit peut être déterminée en réalisant les étapes suivantes :

- détermination d'une corde C du champ de vision comme étant la distance maximum d'un segment inscrit dans le champ de vision,
- détermination d'une bande de tolérance comprenant la corde C, la distance entre la trajectoire principale et le sentier gauche ou droit est définie comme étant égale à une hauteur entre la source et le milieu de la bande de tolérance.

Le procédé selon l'invention permet donc de prévoir une distance optimisée entre l'objet et la trajectoire de façon à couvrir un maximum de longueur de la trajectoire à chaque position. La bande de tolérance est une marge de tolérance de la distance entre l'objet et la trajectoire. C'est-à-dire que, pour un objet positionné et orienté face à la trajectoire, tant que les variations de la trajectoire restent dans cette marge, l'on considère que le champ de vision couvre un segment de la trajectoire acceptable.

En complément notamment de tout ce qui précède, l'étape a) de sélection d'un ensemble de positions candidates peut en outre comprendre les étapes suivantes :

- détermination d'une zone réservée autour de la trajectoire principale, cette zone réservée étant moins large que la zone de détection optimisée ; des espaces obtenus entre la zone de détection optimisée et la zone réservée constituant des zones différentielles, et
- sélection de tout ou partie des points des zones différentielles comme des positions candidates.

Ladite zone réservée correspond à une zone réservée à l'élément mobile à suivre.

Il s'agit là d'un moyen pour obtenir plus de positions candidates non pas sur les sentiers mais également sur des surfaces qui sont plus proches de la trajectoire tout en conservant une distance minimum de sécurité représentée par la zone réservée.

35

En complément notamment de ce qui précède, la sélection d'une partie des points des zones différentielles est obtenue lors de chaque étape d1) de détermination d'une position candidate ayant le score le plus élevé ; ledit ensemble de positions candidates comprenant en outre des positions candidates obtenues selon les étapes suivantes :

- d11) identification de parties des zones différentielles se trouvant à portée de la dite extrémité de la trajectoire principale ; pour chaque partie identifiée, réalisation des étapes suivantes :
- d12) échantillonnage à une résolution,
- d13) évaluation en calculant un score pour chaque point obtenu après échantillonnage,
- d14) sélection du meilleur point,
- d15) détermination d'une zone limitée autour du meilleur point sélectionné,
- d16) répétition des étapes d12) à d15) avec augmentation de ladite résolution à chaque répétition jusqu'à atteindre un niveau de résolution prédéterminé, puis sélection du dernier meilleur point comme position candidate.

Le procédé selon l'invention permet de rechercher des positions candidates dans des parties des zones différentielles. Pour ce faire, en même temps que l'on parcourt la trajectoire lors de la phase de construction globale, on augmente le nombre de positions candidates en considérant les points à la portée du premier de chaque segment de trajectoire. La position candidate qui sera retenue est celle qui présentera le meilleur score.

Par zone limitée on entend une zone de dimension inférieure à la dimension de la partie identifiée, par exemple cette zone limitée peut être délimitée par les plus proches voisins du point sélectionné.

Selon un mode de réalisation de l'invention, la sélection d'une partie des points dans une zone différentielle peut comprendre les étapes suivantes :

- d12) échantillonnage à une résolution,
- d13) évaluation en calculant un score pour chaque point obtenu après échantillonnage,
- d14) sélection du meilleur point,
- d15) détermination d'une zone limitée autour du meilleur point sélectionné,

d16) répétition des étapes d12) à d15) avec augmentation de ladite résolution à chaque répétition jusqu'à atteindre un niveau de résolution prédéterminé, puis sélection du dernier meilleur point comme position candidate.

5 En complément notamment de ce qui précède, chaque zone différentielle peut être découpée en plusieurs sous-zones différentielles comprenant plusieurs points échantillonnés. Par ailleurs, les étapes d12) à d15) peuvent alors être réalisées sur chacune des sous-zones différentielles ainsi découpées.

10 Dans ce mode de réalisation, les positions candidates sur les zones différentielles peuvent être obtenues indépendamment et en amont de la phase de construction globale.

L'avantage de réaliser des multi-échantillonnages sur de petites surfaces est de diminuer le coût des calculs par rapport à un échantillonnage haute résolution sur toutes les zones différentielles.

15 Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, les points de la trajectoire principale peuvent être déterminés par échantillonnage aléatoire, systématique, notamment à intervalle régulier, ou selon une règle prédéterminée.

20 Selon l'invention, le score peut être une longueur du segment balayé ou le nombre de points balayés.

25 Selon un mode de réalisation préféré, l'objet est un dispositif électronique de détection. Il peut s'agir d'un laser, une caméra, une tribune à disposer le long d'un circuit automobile, etc.

Il est également prévu un système de traitement de données comprenant des moyens pour mettre en œuvre les étapes du procédé tel que défini ci-dessus.

30

L'invention concerne également un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions qui, lorsque le programme est exécuté par un ordinateur, conduisent celui-ci à mettre en œuvre les étapes du procédé tel que défini ci-dessus.

35

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'un mode de mise en œuvre nullement limitatif, et des dessins annexés, sur lesquels :

- [Fig. 1] La figure 1 est une vue schématique d'un modèle de l'environnement,
- 5 [Fig. 2] La figure 2 est une vue schématique de plusieurs modèles représentant le champ de vision d'un phare, avec θ variant,
- [Fig. 3] La figure 3 est une schématique illustrant un principe de détermination d'une bande de tolérance,
- [Fig. 4] La figure 4 est une vue schématique permettant de comparer des
- 10 largeurs de bandes comme définies sur la figure 3,
- [Fig. 5] La figure 5 est une vue schématique illustrant des sentiers idéaux, représentés dans l'environnement,
- [Fig. 6] La figure 6 est une vue schématique illustrant des sentiers adaptés à l'environnement, trajectoire sous-échantillonnée,
- 15 [Fig. 7] La figure 7 est une vue schématique illustrant des sentiers adaptés calculés en utilisant tous les points,
- [Fig. 8] La figure 8 est une vue schématique illustrant un processus pour déterminer le champ de vision local,
- [Fig. 9] La figure 9 est une vue schématique illustrant une succession d'étapes
- 20 d'optimisations locales constituant une solution globale,
- [Fig. 10] La figure 10 est une vue schématique illustrant une solution globale obtenue à partir des sentiers,
- [Fig. 11] La figure 11 est une vue schématique illustrant une zone réservée autour de deux segments de la trajectoire et la génération d'une surface de
- 25 solutions autour de deux points distincts,
- [Fig. 12] La figure 12 est une vue schématique illustrant un échantillonnage régulier et une optimisation locale,
- [Fig. 13] La figure 13 est une vue schématique illustrant un échantillonnage progressif,
- 30 [Fig. 14] La figure 14 est une vue schématique illustrant une succession d'étapes locales en passant de segment en segment de la trajectoire avec un échantillonnage progressif de chaque surface couverte par le champ de vision local.

35 Les modes de réalisation qui seront décrits dans la suite ne sont nullement limitatifs; on pourra notamment mettre en œuvre des variantes de

l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques décrites par la suite isolées des autres caractéristiques décrites, si cette sélection de caractéristiques est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieur. Cette
5 sélection comprend au moins une caractéristique de préférence fonctionnelle sans détails structurels, ou avec seulement une partie des détails structurels si cette partie uniquement est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieur.

En particulier toutes les variantes et tous les modes de réalisation décrits
10 sont prévus pour être combinés entre eux dans toutes les combinaisons où rien ne s'y oppose sur le plan technique.

Les différents modes de réalisation de la présente invention comprennent diverses étapes. Ces étapes peuvent être mises en œuvre par des instructions d'une machine exécutable au moyen d'un microprocesseur par
15 exemple.

Alternativement, ces étapes peuvent être réalisées par des circuits intégrés spécifiques comprenant une logique câblée pour exécuter les étapes, ou par toute combinaison de composants programmable et composants personnalisés.

La présente invention peut également être fournie sous forme d'un
20 produit programme d'ordinateur qui peut comprendre un support mémoire informatique non-transitoire contenant des instructions exécutables sur une machine informatique, ces instructions pouvant être utilisées pour programmer un ordinateur (ou tout autre dispositif électronique) pour exécuter le procédé.

25 Bien que l'invention n'y soit pas limitée, nous allons maintenant décrire un procédé selon l'invention pour déterminer les positions d'un détecteur laser pour le suivi de la trajectoire d'un robot dans un environnement simulé. Ce détecteur laser est par la suite nommé phare. Il peut s'agir de tout type de
30 dispositif auquel un champ de vision peut être associé. On peut par ailleurs citer un drone équipé d'un moyen de détection et/ou de visualisation.

La figure 1 est une vue schématique d'un modèle d'environnement représentant des parois 1 et des poteaux 2. Les espaces vides sont des passages par lesquels une ou plusieurs trajectoires peuvent être envisagées.

35 La présente invention concerne une stratégie de placement des phares, de manière à optimiser, ici minimiser, le nombre de positions des phares

nécessaire à la réalisation d'une mission donnée. La mission peut être l'exploration de l'environnement par deux robots ou drones, l'un servant de phare placé successivement dans des positions optimisées pour visualiser le parcours du second.

5 L'objectif de l'invention est de déterminer les positions des phares dans un environnement simulé pour ensuite en déduire un positionnement desdits phares dans l'environnement réel. Les positions qui seront déterminées ont un effet technique dans le suivi d'un mobile sur une trajectoire dans l'environnement réel.

10 Une solution au problème global est une liste de couples (*placement*, *section*) décrivant comment positionner le phare et quelle section de la trajectoire est couverte par le phare ainsi positionné :

$$Solution = [(placement_0, section_0) , . . . (placement_n, section_n)]$$

15 L'optimisation au niveau global consiste donc à minimiser le nombre n de couples nécessaires à la réalisation de la mission. Cependant, chaque étape est dépendante de la précédente, le point de départ de la $section_{k+1}$ étant le dernier point de la $section_k$.

L'optimal global peut être obtenu en sélectionnant successivement les meilleures solutions locales. C'est-à-dire choisir le placement du phare qui
20 permet de maximiser la section de trajectoire couverte, puis boucler sur le reste de la trajectoire.

La présente invention permet notamment de déterminer l'espace de solutions locales, qui est en réalité un ensemble de placements possibles du phare, de calculer la pertinence de chacune de ces solutions sous la forme d'un
25 score déterminé analytiquement de façon à sélectionner le meilleur placement, puis de construire la solution globale couvrant toute la trajectoire.

Pour un phare émettant un laser dans l'environnement, la zone couverte peut être définie par divers éléments :

30 - la portée p : distance en mètres à laquelle les récepteurs sont encore capables de capter et d'exploiter les informations encodées dans les lasers,
- angle θ : angle délimitant le champ de vision, exprimé en degrés ou en radians

Ainsi, la zone de couverture d'un phare est un secteur circulaire, défini
35 par les inéquations suivantes :

$$x^2 + y^2 \leq p^2$$

$$-\tan(\theta/2) \leq x/y \leq \tan(\theta/2)$$

$$y \geq 0$$

La figure 2 présente le modèle d'un phare, ou plutôt trois déclinaisons
5 de ce modèle, avec une portée identique $p = 5m$ mais avec différentes valeurs
de l'angle d'ouverture θ . Lors d'une exploration typique, la trajectoire est
majoritairement rectiligne, les variations de directions, c'est-à-dire les virages,
n'étant que des cas particuliers entre deux sections rectilignes. En faisant
l'hypothèse d'une trajectoire rectiligne, il devient alors aisé de déterminer
10 comment placer le phare par rapport à la trajectoire. Ainsi, lorsque l'angle
d'ouverture est petit : $\theta < 60^\circ$, le plus grand segment inclus dans la zone de
couverture est n'importe lequel des rayons du secteur circulaire, de longueur
 p , c'est le cas de l'exemple représenté avec $\theta = 40^\circ$.

Dans le cas où $\theta = 60^\circ$, la corde c et les deux rayons extrêmes délimitant
15 le secteur circulaire forment un triangle équilatéral, donnant donc $c = p$. Enfin,
dans le dernier cas, où $\theta > 60^\circ$ le plus grand segment inclus dans le secteur
devient la corde c . Sa longueur est calculable en évaluant l'équation suivante
:

$$c = 2p.\sin(\theta/2)$$

20

Dans l'exemple de la figure 2, c atteint plus de $9.5m$, alors que la portée
du phare n'est que de $5m$. Placer le phare de manière à superposer la corde c
du secteur circulaire permet donc de maximiser la longueur de trajectoire
rectiligne couverte par le phare. Et donc, par la même occasion, de minimiser
25 le nombre de déplacements de phare nécessaires à la bonne conduite d'une
mission. Afin d'effectuer cette superposition, il convient de placer le phare,
orienté perpendiculairement à la direction de la trajectoire, à une distance d
de cette dernière, calculée de la manière suivante :

$$d = p.\cos(\theta/2)$$

30 Cependant, même en dehors des virages, les trajectoires sont rarement
parfaitement rectilignes, mais plutôt contenues dans une bande réduite, dont
la largeur varie selon le scénario et l'intensité du lissage. Ainsi, modéliser la
trajectoire par une bande de largeur b permet de mieux prendre en compte les
réalités du terrain. La figure 3 représente cette bande, inscrite dans le secteur
35 circulaire. Elle est définie entre une bordure intérieure, la corde c (à distance

d du phare) et une bordure extérieure, la corde c' (à une distance $d' = d + b$ du phare).

Augmenter la largeur b de la bande aura pour conséquence de diminuer la longueur maximale de bande couverte, à l'avantage de la capacité à mieux
 5 couvrir les cas où la trajectoire ne serait pas totalement rectiligne, ainsi que les virages bruts de la trajectoire. Cette capacité de tolérance est proportionnelle à l'aire de la bande, qui est définie de la manière suivante :

$$A_{bande} = \frac{p}{2}\theta - \left(\frac{d.c}{2} + \frac{p^2}{2}(2\alpha - \sin(2\alpha)) \right), \text{ avec } \alpha = \cos^{-1}\left(\frac{d'}{p}\right)$$

10

Le choix de la largeur de bande b peut être un compromis entre longueur maximale couverte et aire maximale couverte. L'évaluation de ces grandeurs en fonction de la largeur de bande est présentée sur la figure 4, qui propose un compromis déterminé par l'intersection des courbes *distance* (décroissante)
 15 et *aire* (croissante) exprimées dans la même échelle. Sur la figure 4, l'intersection correspond à la valeur de $b = 2.25\text{m}$, ce qui donne un $c' = 7.06\text{m}$.

On prévoit de placer le phare orienté en direction de la trajectoire à une distance constante. Cette distance est déterminée en additionnant la distance d définie précédemment (entre le phare et la bordure intérieure) et la moitié
 20 de la largeur de bande. Ainsi :

$$d_{phare} = p.\cos(\theta/2) + b/2$$

Dans le cas présent, pour $\theta = 150^\circ$, $b=2.25\text{m}$ et $p=5\text{m}$, on obtient une
 25 distance de $d_{phare} = 2.418\text{m}$.

Sur la figure 5 est représentée une trajectoire principale 51. Les phares doivent être placés dans des positions optimisées pour couvrir l'ensemble de cette trajectoire principale 51. Cette trajectoire principale peut avoir
 30 notamment été déterminée lors d'un processus de génération de trajectoire faisant intervenir des allées en pointillées sur la figure 5.

Pour tenir compte de la distance d_{phare} dans le positionnement du phare, on peut définir une nouvelle trajectoire de chaque côté de la trajectoire principale, que nous nommerons sentiers.

Chaque sentier est une trajectoire virtuelle parallèle à la trajectoire principale, décalée d'une distance constante d_{phare} vers la gauche ou vers la droite. Le côté gauche ou droit est une simple représentation pour spécifier que les sentiers sont disposés de part et d'autre de la trajectoire principale dans une représentation 2D de l'environnement simulé, vu de dessus.

Ainsi, un sentier est l'ensemble des solutions possibles au problème d'optimisation du placement des phares respectant le critère de distance défini ci-dessus.

Déterminer un sentier parallèle à la trajectoire principale nécessite quelques calculs géométriques, majoritairement situés dans la détermination des virages intérieurs de la courbe. Un module informatique tel que par exemple *Shapely* propose une fonction de commodité permettant de réaliser automatiquement ces calculs.

Les sentiers tels que définis ne tiennent pas compte de l'environnement.

Pour respecter les propriétés de visibilité et d'absence de collisions, on peut utiliser un algorithme de *moulage par rayons*, « Ray casting » en anglais. Cela consisterait en la construction d'un rayon partant de la trajectoire, à la normale de chacun des points de cette trajectoire.

La présente invention propose un nouvel algorithme permettant d'atteindre le même résultat en utilisant uniquement des opérations ensemblistes. Nous allons construire une médiatrice M pour chaque couple (t_i, t_{i+1}) de points consécutifs de la trajectoire principale. Les moitiés gauche M_g et droite M_d de cette médiatrice joueront le rôle de rayons. Les zones restreintes ainsi que les sentiers idéaux S_g (gauche) et S_d (droit) déterminés précédemment joueront quant à eux le rôle de limites sur lesquelles les rayons s'arrêteront.

Nous ne présenterons que la génération du sentier réel droit, la détermination du côté gauche étant en tous points similaire. L'idée générale de l'algorithme présenté ici est dans un premier temps de déterminer l'ensemble I_d des intersections entre la demi-médiatrice droite et l'union de l'environnement (parois et poteaux) et du sentier idéal droit :

$$I_d = \{m \in M_d \vee \forall z \in Z, m \cap (z \cup S_d) \neq \emptyset\}$$

Il s'agit ensuite de déterminer, le point p inclus dans I_d le plus proche de l'origine de la demi-médiatrice M_d .

La figure 5 illustre l'algorithme avec deux exemples sur une trajectoire sous-échantillonnée, permettant ainsi de dessiner les rayons construits sans saturer l'image. L'ensemble I_d peut ne contenir qu'un seul point, la médiatrice ne traversant pas d'obstacles, auquel cas ce point sera utilisé pour construire le sentier adapté. C'est le cas le plus simple, visible pour la demi-médiatrice droite entre $t38$ et $t39$.

Cet ensemble peut également contenir un point et un ensemble de segments issus de l'intersection entre les zones restreintes et la demi-médiatrice. Il faudra alors sélectionner le point le plus proche de l'origine de la demi-médiatrice parmi l'ensemble des points inclus dans ces segments d'intersection. C'est le cas pour la demi-médiatrice droite des points $t36$ et $t37$.

La figure 6 illustre un résultat lorsque l'algorithme est appliqué sur une trajectoire principale correctement échantillonnée.

Les sentiers adaptés gauche 71 et droit 72 sur la figure 7 constituent donc l'ensemble de positions candidates pour le phare. Il s'agit ensuite de déterminer l'orientation du phare en chaque position candidate en construisant un champ de vision local. La présente invention prévoit une détermination analytique de l'orientation du phare. Pour ce faire, cette détermination est réalisée lors d'une phase d'évaluation au cours de laquelle chaque position candidate est évaluée.

Afin d'évaluer la pertinence d'un point p , il faut déterminer une méthode de calcul de l'orientation α du phare, permettant de transformer ce point en une solution (p, α) . Nous allons construire une fonction qui parcourt l'ensemble des points de la section de trajectoire.

Lorsque l'on considère un seul point de l'un des sentiers adaptés, l'ensemble des points de la trajectoire est compris dans un secteur circulaire virtuel, défini par deux rayons et une portée. Nous allons modéliser ces rayons par deux vecteurs U_{min} et U_{max} . L'idée globale est d'agrandir le secteur circulaire virtuel pour qu'il inclue chacun des points de T_k , et ce tant que le secteur virtuel n'a pas atteint les dimensions maximales de la zone de diffusion du phare.

La figure 8 présente différentes étapes de l'agrandissement du secteur circulaire virtuel. Les vecteurs U_{min} et U_{max} sont mis à jour au besoin, à chaque

ajout de point t_k , si le point est à l'extérieur du secteur circulaire. Si mise à jour il y a, on vérifie que l'angle d'ouverture θ du secteur virtuel est toujours inférieur à l'angle maximal permis par le phare. La distance entre le point à ajouter et la position candidate du phare est également calculée. Si les deux conditions $\theta \leq \theta_{max}$ et $\|p - t_k\| \leq portée$ sont respectées, il est possible de couvrir t_k depuis p .

Bien que les vérifications précédentes garantissent la présence du point t_k dans le secteur de diffusion du phare positionné en p , les occlusions potentielles dues à l'environnement ne garantissent pas la visibilité de l'ensemble des points de la trajectoire à suivre depuis la position candidate. En effet, un obstacle pourrait occulter la ligne de vue, rendant la solution inefficace en pratique. Le modèle de l'environnement comprend un ensemble O de polygones représentant les obstacles (parois, poteaux, ...).

Nous allons construire un test de visibilité. Afin d'accepter un nouveau point t_k dans la section couverte, il faut non seulement que ce point soit visible depuis p , mais également que le segment allant de t_{k-1} à t_k soit intégralement visible pour que l'on puisse se rendre de l'un à l'autre sans perdre le lien visuel avec le phare. Pour garantir cette visibilité, il faut qu'aucun obstacle ne se trouve dans le triangle Δ défini par les points t_{k-1} , t_k et p . Nous pouvons pour cela utiliser l'opérateur d'intersection et ainsi vérifier la propriété de visibilité :

$$\forall o \in O, o \cap \Delta = \emptyset$$

L'évaluation à proprement parler consiste à calculer un *score* pour chaque champ de vision local déterminé. Le score est proportionnel au segment pris dans le champ de vision local. Nous pouvons calculer directement cette distance en sommant au fur et à mesure les distances $\|t_{k-1} - t_k\|$, ou simplement en comptant le nombre de points couverts, ce qui est moins coûteux et aussi discriminant pour le choix de la solution optimale.

Pour la première solution, soit l l'indice du premier point t_l non couvert depuis la position p , le score est donné par la somme suivante :

$$\Phi: \left(x, y \right) \mapsto \sum_{k=1}^{l-1} \|t_{k-1} - t_k\| \text{ avec } t_k \in T$$

La phase d'évaluation permet donc pour chaque position candidate de construire un champ de vision local et de lui associer un score.

On va maintenant décrire la construction d'une solution globale.

5 La construction d'une solution globale optimale consiste à résoudre le problème local de maximisation de trajectoire couverte en commençant par le début de la trajectoire. On retient la position candidate dont le champ de vision local intègre le premier point de la trajectoire principale et présente le score le plus élevé (parmi tous les champs de vision intégrant le premier point de la
10 trajectoire principale). Il faut ensuite réduire la trajectoire à traiter en soustrayant la partie couverte précédemment. On boucle ainsi tant qu'il reste des points dans la trajectoire à traiter.

La figure 9 permet de visualiser les différentes étapes nécessaires au suivi de la trajectoire principale de bout en bout. Les points évalués localement
15 ainsi que leurs scores associés sont dessinés sur chaque étape. La solution optimale est choisie parmi ces points permettant par la même occasion de déterminer la section couverte. Cette solution est représentée par le secteur circulaire de diffusion sur la figure 9. Ce processus est ensuite répété jusqu'au bout de la trajectoire.

20 Sur la figure 9, à l'étape 0, on distingue le champ de vision local 91 dont la source est située contre une paroi de l'environnement sur un sentier adapté. La source du champ de vision coïncide avec une position candidate 92 ayant eu le score le plus élevé parmi un ensemble de positions candidates dans la portée du point de départ 93. La position candidate 92 qui a été sélectionnée
25 se trouve sur le sentier gauche. L'angle d'ouverture de ce champ de vision local est inférieur ou égal au champ de vision maximum du phare. Le segment ou la section couverte par le champ de vision est la plus grande possible.

A l'étape 1, on considère le reste de la trajectoire principale. Le point de départ est désormais le premier point du reste de la trajectoire non couverte
30 par le premier segment. De la même manière, on considère la position ayant obtenu le meilleur score. Le champ de vision local de cette position permet de déterminer le segment couvert. L'algorithme est appliqué successivement sur le reste de la trajectoire jusqu'à atteindre le point d'arrivée, 94 à l'étape 4 sur la figure 9.

La solution globale ainsi obtenue est résumée sur la figure 10, où les étapes successives sont superposées sur la carte, formant une solution optimale. La pertinence de cette solution s'évalue par le nombre d'étapes nécessaires à la réalisation de la mission.

5

La présente invention propose ainsi des solutions pour lesquelles les positions candidates sont sur les sentiers adaptés. Cela est optimal pour une trajectoire purement rectiligne. Cependant, dans de nombreux cas pratiques, la trajectoire à suivre est loin d'être rectiligne. Pour ce faire, la présente invention prévoit d'étendre l'espace de solutions à toute la surface entre les sentiers gauche et droit de façon à mieux couvrir les sections à forte courbure. Augmenter ainsi l'espace de solutions a évidemment un coût en calculs, mais peut permettre d'obtenir de meilleures solutions par rapport à des positions sur les sentiers.

Afin de déterminer la surface de solutions P_k , on détermine d'abord une surface S_k comme étant la surface de la zone de détection optimisée. Par ailleurs, le phare ne devant pas gêner le mobile dans le suivi de sa trajectoire principale, nous écartons les points trop proches de cette dernière. Notons R_k cette zone réservée, qui est définie par la contrainte de respect de la distance de sécurité ds de la manière suivante :

20

$$R_k = \{q \in R^2 \vee \forall t \in T_k, \|t - q\| < ds\}$$

La figure 11 présente les surfaces et zones réservées 110 et 111 de deux sections distinctes de la trajectoire principale. Ainsi l'ensemble P_k des solutions pour une section k sera défini par la différence entre ces deux surfaces :

25

$$P_k = S_k - R_k$$

La surface P_k est un espace de solutions plus large que les précédents sentiers et offre probablement de meilleures solutions locales.

30

On prévoit également d'évaluer les solutions de P_k en calculant des scores. Or, la fonction Φ proposée ci-dessus ne permet de fournir un score que pour un point donné. Il nous faut donc échantillonner la surface P_k , nous allons pour cela utiliser une grille uniformément espacée, générant ainsi un sous-ensemble de points $E_k \subset P_k$. Ayant maintenant affaire à des points, il est possible d'évaluer leur pertinence respective.

35

La figure 12 présente la grille de points évalués, ainsi que leur score. Une fois de plus, la discrétisation, ici la distance entre chaque échantillon testé, est volontairement choisie pour simplifier la compréhension et la visualisation des résultats. Il est toutefois possible de faire varier cette distance afin de
 5 tester plus de candidats, et ainsi ajuster le rapport coût/performance de l'algorithme d'optimisation locale.

La solution locale trouvée est meilleure, car le point choisi couvre une portion plus longue de la trajectoire principale. En contrepartie, le coût total de
 10 l'optimisation augmente linéairement avec le nombre de points testés.

Afin de diminuer le coût, une stratégie d'évaluation multi-échelle permettant de réduire drastiquement le nombre de points à évaluer a été mise en place. En effet, il est possible d'obtenir une résolution fine, sans tester
 15 l'ensemble de la grille à haute résolution. L'astuce consiste à faire un premier échantillonnage à faible résolution, procéder à l'évaluation des points, sélectionner le meilleur, puis répéter le processus avec une résolution plus fine, mais dans une zone limitée autour du meilleur point précédemment sélectionné.

20 Ainsi, pour obtenir une résolution de $1\text{cm} = 0.01\text{m}$, dans une portée de 5m avec une seule échelle, il faudrait :

$$\text{Card}(E) \leq \left(\frac{\text{portée}}{\Delta d}\right)^2 \approx 10^5$$

En Appliquant cette fois-ci une recherche avec une succession d'échelles
 25 (par exemple $d = 1, 0.1, 0.01$) le nombre d'échantillons à tester est déterminable de la manière suivante :

$$\text{Card}(E_{\text{multi}}) \leq \left(\frac{\text{portée}}{\Delta d_0}\right)^2 + \sum_{n=1}^{\text{card}(d)} \left(\frac{\Delta d_{n-1}}{\Delta d_n}\right)^2 \approx 10^2$$

Cette approche permet donc de limiter très fortement le nombre de calculs nécessaires pour obtenir une résolution fine. Toutefois, ne testant pas
 30 l'ensemble des points de la grille à résolution fine, il est possible de tomber dans un extremum local, dont la valeur peut être très éloignée de l'optimum global qui aurait été trouvé avec l'approche mono-résolution. Il est alors possible de sélectionner plus d'un point à chaque étape, limitant ainsi ce risque. Bien que ce garde-fou ait un coût en calculs, il reste très limité par rapport au
 35 coût de l'approche mono-résolution :

$$\text{Card}(E_{\text{multi}}) \leq \left(\frac{\text{portée}}{\Delta d_0}\right)^2 + nx \sum_{i=1}^{\text{card}(d)} \left(\frac{\Delta d_{i-1}}{\Delta d_i}\right)^2 \approx 10^3$$

La figure 13 présente l'approche multi-échelle et les résultats obtenus à chaque résolution, ainsi que le résultat obtenu avec l'approche mono-résolution avec $\Delta d = 0.1$. Une rapide analyse quantitative et qualitative permet de valider l'approche, qui permet d'obtenir des résultats aussi précis. Il est même possible, au vu de la réduction du coût en calcul, de calculer à une résolution supérieure, ce qui prendrait trop de temps en pratique pour l'approche mono-échelle.

10

La succession d'optimisations locales obtenues avec l'approche par surface est présentée sur la figure 14. Bien que la discrétisation choisie soit volontairement grossière afin de faciliter la visualisation, on peut constater une amélioration des positions choisies, particulièrement autour des virages important de la courbe principale.

15

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits. De nombreuses modifications peuvent être apportées à ces exemples sans sortir du cadre de la présente invention telle que décrite

20

REVENDICATIONS

1. Procédé pour déterminer des positions optimisées d'au moins un objet doté d'un champ de vision pour le suivi d'une trajectoire dans un environnement simulé comprenant des obstacles, le champ de vision comprenant une source, une portée et un angle d'ouverture, caractérisé en ce que le procédé est mis en œuvre par un ordinateur et comprend les étapes suivantes :
- 5 a) sélection d'un ensemble de positions candidates,
- 10 b) pour chaque position candidate, construction d'un champ de vision local placé à cette position candidate et orienté suivant les étapes suivantes :
- b1) définition de deux vecteurs positionnés à la position candidate et orientés vers un premier point d'un segment de la trajectoire principale, ce premier point étant à la portée de l'objet lorsque l'objet est placé à la position candidate,
- 15 b2) balayage point par point du segment ; à chaque nouveau point balayé du segment, les vecteurs pointent vers deux points balayés les plus écartés vis-à-vis de la position candidate,
- b3) fin de balayage lorsqu'un nouveau point balayé est considéré non valide ; un point balayé étant considéré non valide lorsque ce point balayé se trouve hors de portée ou l'angle formé par les deux vecteurs est supérieur à l'angle d'ouverture du champ de vision ou un obstacle se trouve dans le triangle formé par la position candidate, le précédent point balayé et le nouveau point balayé ; le champ de vision local étant défini par la portée du champ de vision et un angle d'ouverture formé par les deux vecteurs pour le dernier point balayé valide,
- 20 c) affectation d'un score à chaque position candidate,
- d) construction globale des positions optimisées en réalisant les étapes suivantes :
- 30 d1) à partir d'une extrémité de la trajectoire principale, détermination d'une position candidate ayant le score le plus élevé parmi un ensemble de positions candidates ayant un champ de vision local couvrant ledit point de départ ; le champ de vision local de la position candidate ainsi déterminée couvrant un segment de la trajectoire principale,

d2) application successive de l'étape précédente sur le reste de la trajectoire principale jusqu'à ce qu'un champ de vision local couvre une autre extrémité de la trajectoire principale,

d3) sauvegarde de l'ensemble des positions candidates ainsi
5 déterminées comme étant les positions optimisées pour le placement dudit objet.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape a) de sélection d'un ensemble de positions candidates comprend les étapes suivantes :

- 10 - détermination d'une zone de détection optimisée le long de la trajectoire principale, cette zone étant délimitée par une trajectoire virtuelle gauche, dite sentier gauche, et une trajectoire virtuelle droite, dite sentier droit, les deux trajectoires virtuelles étant à une distance fixe de la trajectoire principale,
- pour tout point de la trajectoire principale, détermination d'une position
15 candidate disposée perpendiculairement à la trajectoire principale et située sur le sentier gauche ou à une distance minimale de sécurité d'un obstacle si cet obstacle se trouve entre le sentier gauche et le point de la trajectoire principale,
- pour tout point de la trajectoire principale, détermination d'une position
20 candidate disposée perpendiculairement à la trajectoire principale et située sur le sentier droit ou à une distance minimale de sécurité d'un obstacle si cet obstacle se trouve entre le sentier droit et le point de la trajectoire principale.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la distance entre la trajectoire principale et le sentier gauche ou le sentier droit est déterminée en
25 réalisant les étapes suivantes :

- détermination d'une corde C du champ de vision comme étant la distance maximum d'une corde inscrite dans le champ de vision,
- détermination d'une bande de tolérance comprenant la corde C, la distance
30 entre la trajectoire principale et le sentier gauche ou droit est définie comme étant égale à une hauteur entre la source et le milieu de la bande de tolérance.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape a) de sélection d'un ensemble de positions candidates comprend en outre les étapes suivantes :

- 35 - détermination d'une zone réservée autour de la trajectoire principale, cette zone réservée étant moins large que la zone de détection optimisée ; des

espaces obtenus entre la zone de détection optimisée et la zone réservée constituant des zones différentielles, et

- sélection de tout ou partie des points des zones différentielles comme des positions candidates.

5

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que la sélection d'une partie des points des zones différentielles est obtenue lors de chaque étape d1) de détermination d'une position candidate ayant le score le plus élevé ; ledit ensemble de positions candidates comprenant en outre des positions candidates obtenues selon les étapes suivantes :

10

d11) identification de parties des zones différentielles se trouvant à portée de la dite extrémité de la trajectoire principale ; pour chaque partie identifiée, réalisation des étapes suivantes :

d12) échantillonnage à une résolution,

15

d13) évaluation en calculant un score pour chaque point obtenu après échantillonnage,

d14) sélection du meilleur point,

d15) détermination d'une zone limitée autour du meilleur point sélectionné,

20

d16) répétition des étapes d12) à d15) avec augmentation de ladite résolution à chaque répétition jusqu'à atteindre un niveau de résolution prédéterminé, puis sélection du dernier meilleur point comme position candidate.

25

6. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que la sélection d'une partie des points dans une zone différentielle comprend les étapes suivantes :

d12) échantillonnage à une résolution,

d13) évaluation en calculant un score pour chaque point obtenu après échantillonnage,

30

d14) sélection du meilleur point,

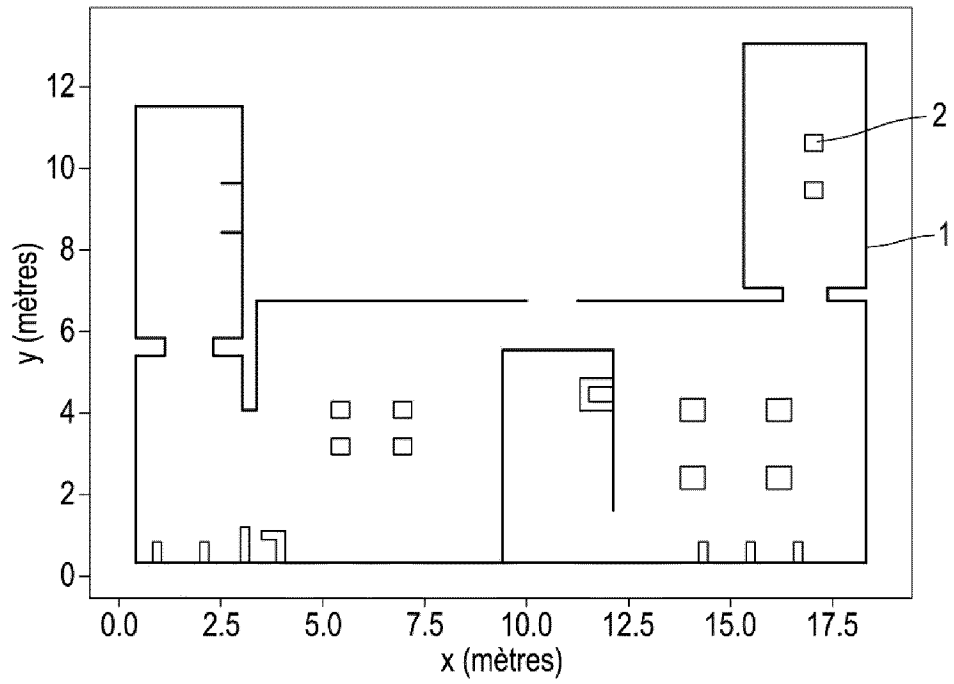
d15) détermination d'une zone limitée autour du meilleur point sélectionné,

d16) répétition des étapes d12) à d15) avec augmentation de ladite résolution à chaque répétition jusqu'à atteindre un niveau de résolution prédéterminé, puis sélection du dernier meilleur point comme position candidate.

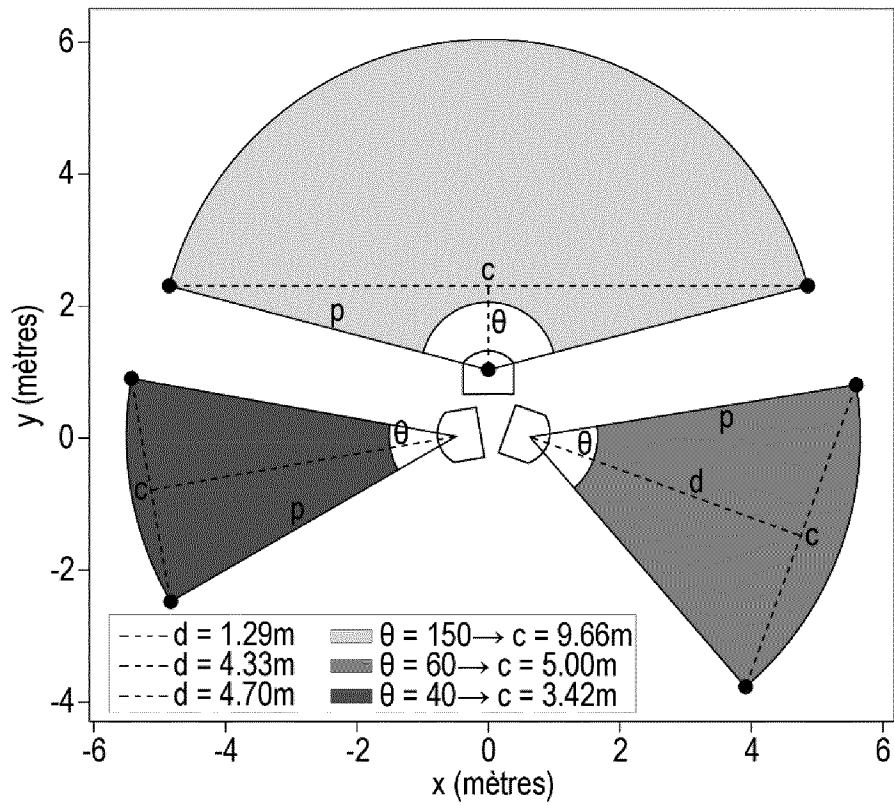
35

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que chaque zone différentielle est découpée en plusieurs sous-zones différentielles comprenant plusieurs points échantillonnés, et en ce que les étapes d12) à d15) sont réalisées sur chacune des sous-zones différentielles ainsi découpées.
- 5
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les points de la trajectoire principale sont déterminés par échantillonnage aléatoire, systématique ou selon une règle prédéterminée.
- 10
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le score est une longueur du segment balayé ou le nombre de points balayés.
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,
15 caractérisé en ce que l'objet est un dispositif électronique de détection.
11. Système de traitement de données comprenant des moyens pour mettre en œuvre les étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.
- 20
12. Produit programme d'ordinateur comprenant des instructions qui, lorsque le programme est exécuté par un ordinateur, conduisent celui-ci à mettre en œuvre les étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.

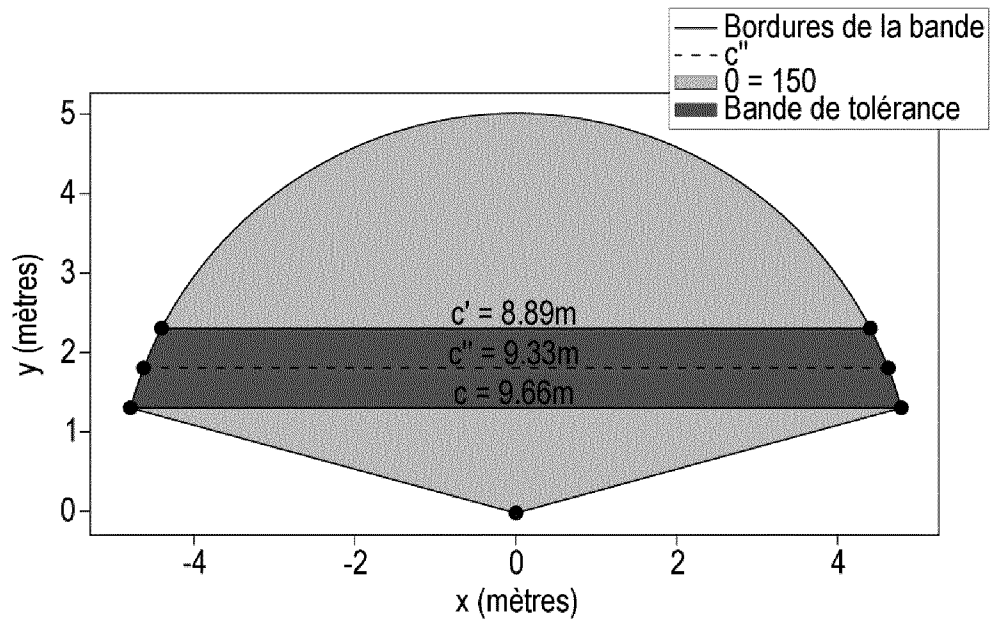
[Fig. 1]



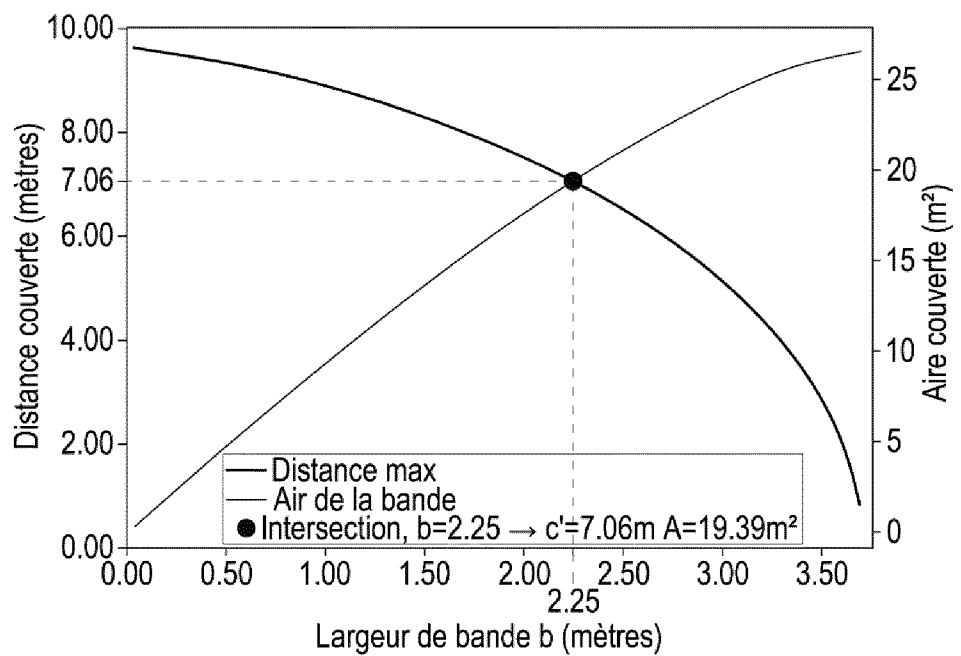
[Fig. 2]



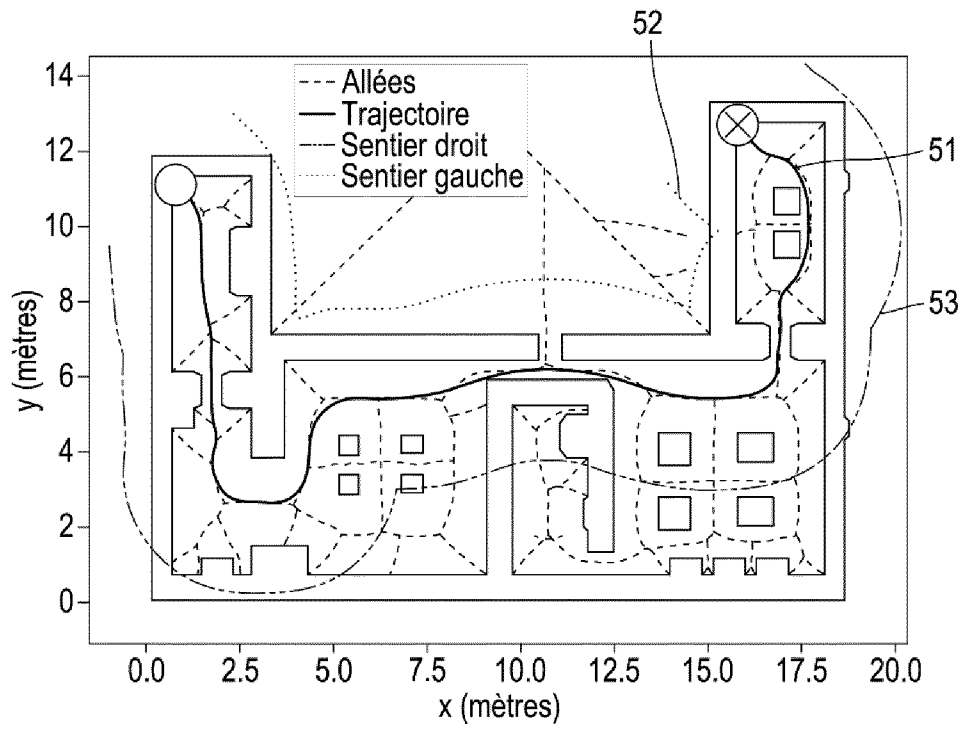
[Fig. 3]



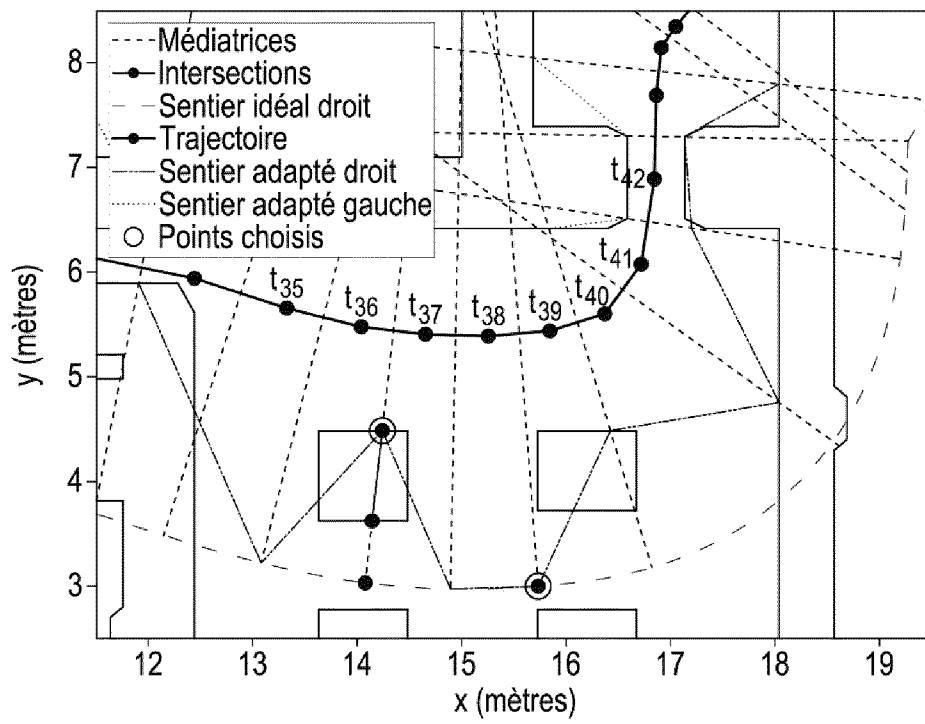
[Fig. 4]



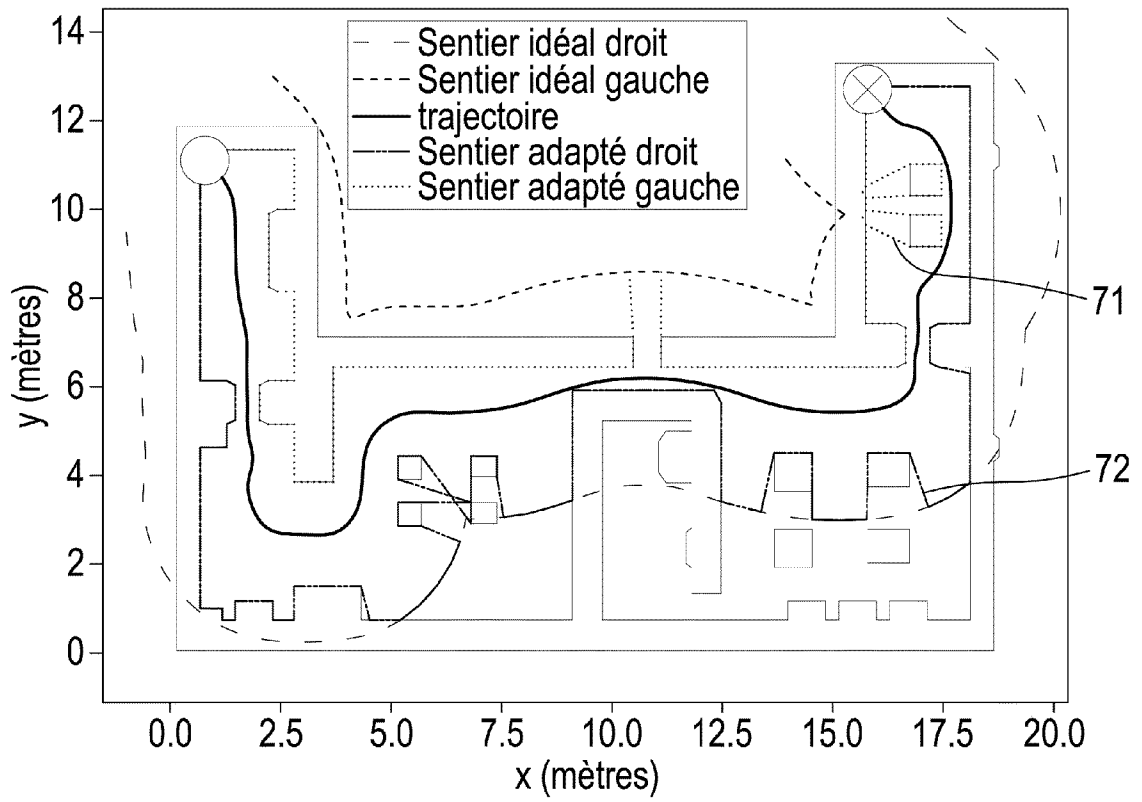
[Fig. 5]



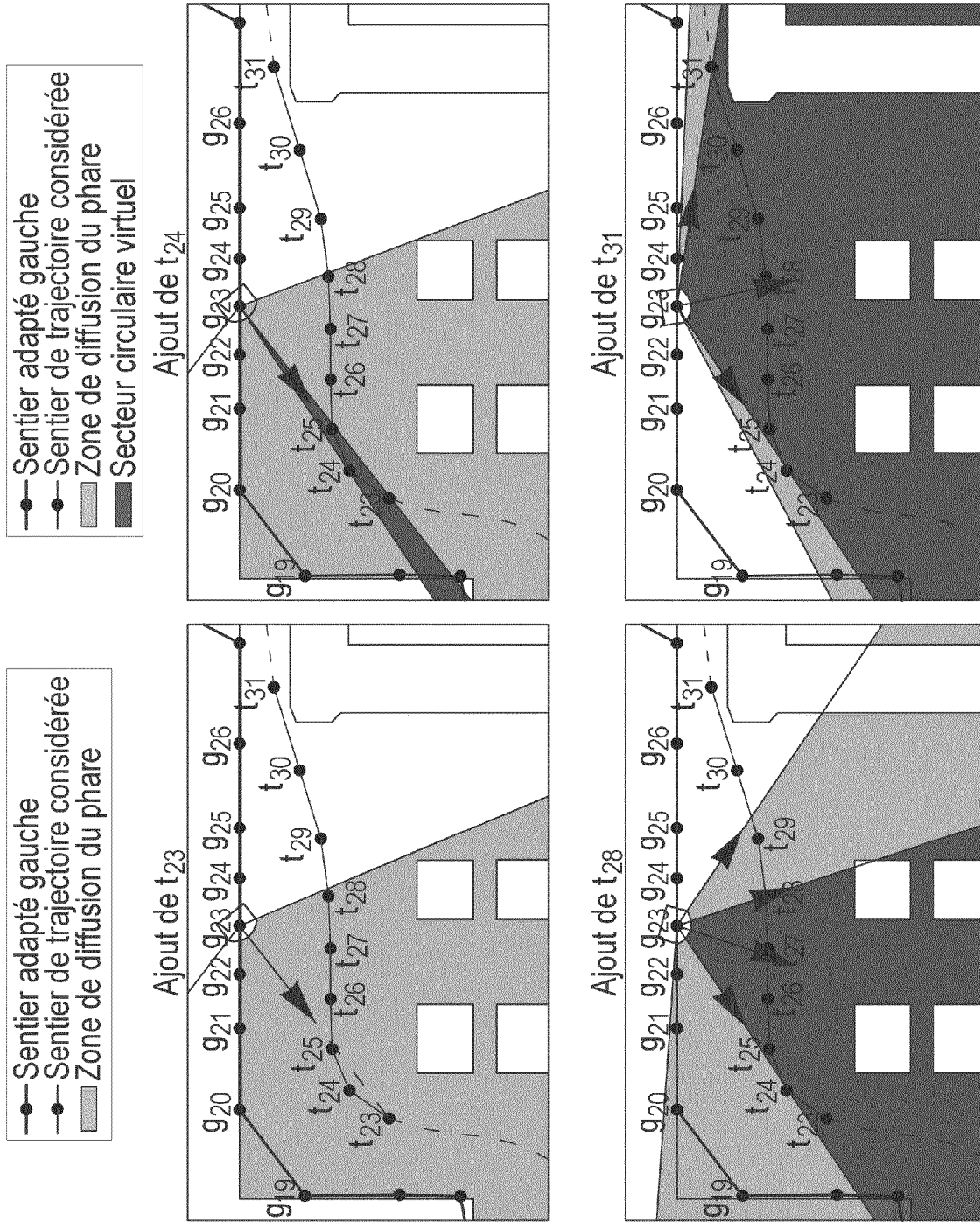
[Fig. 6]



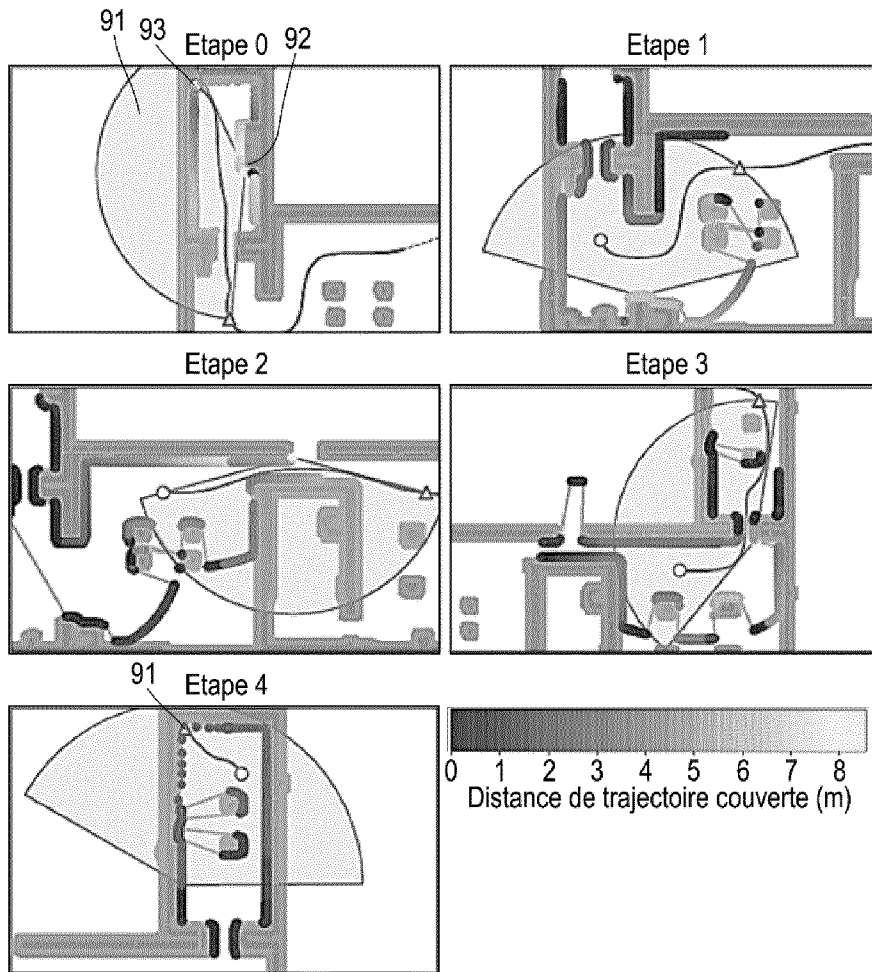
[Fig. 7]



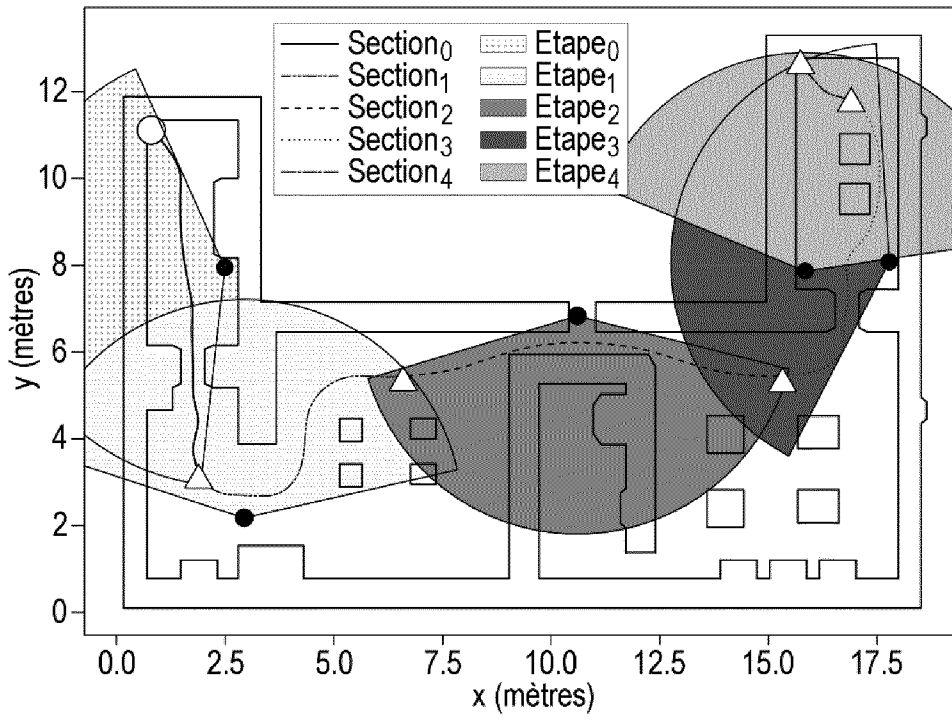
[Fig. 8]



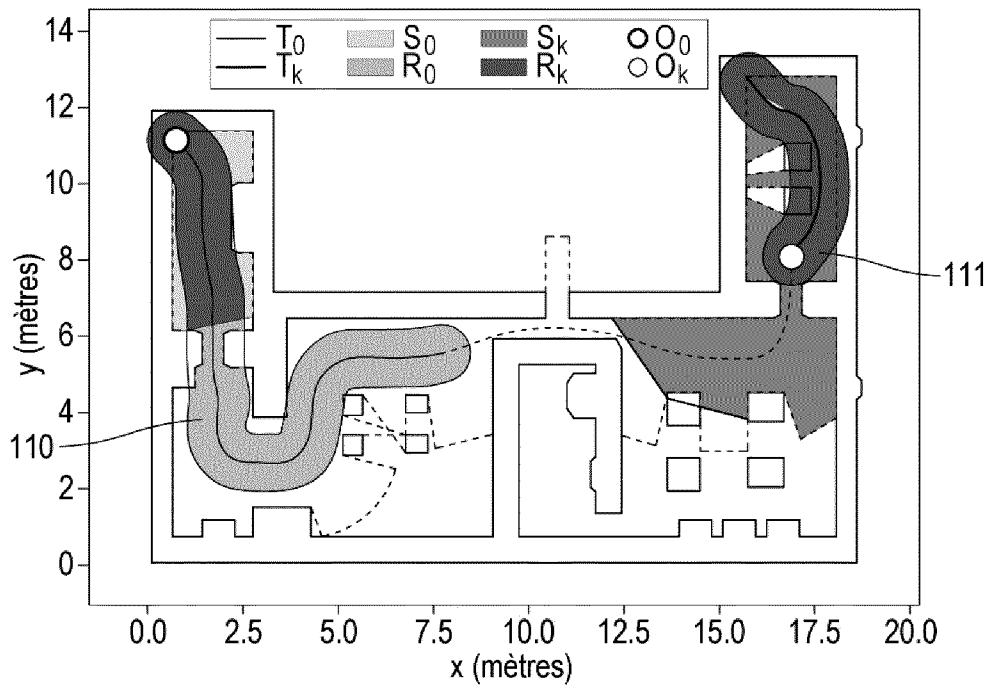
[Fig. 9]



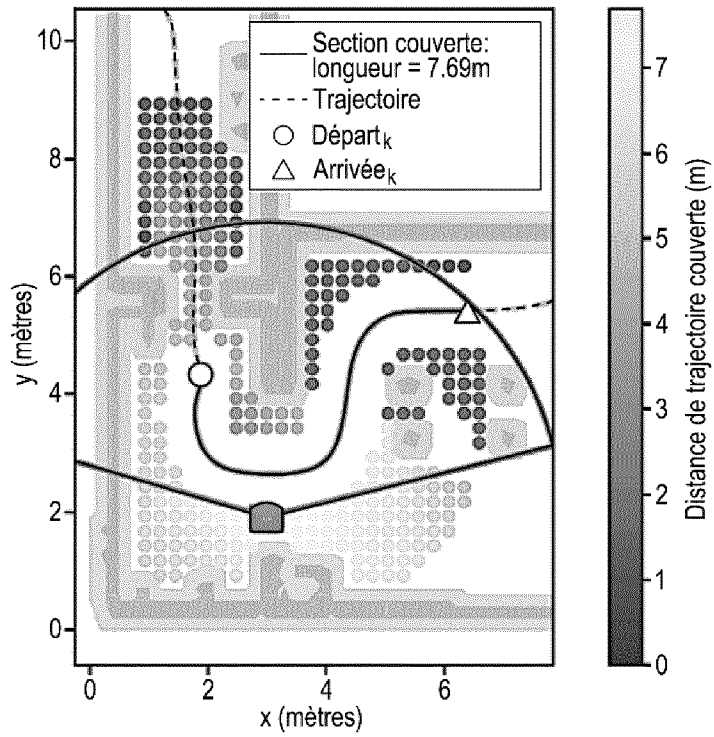
[Fig. 10]



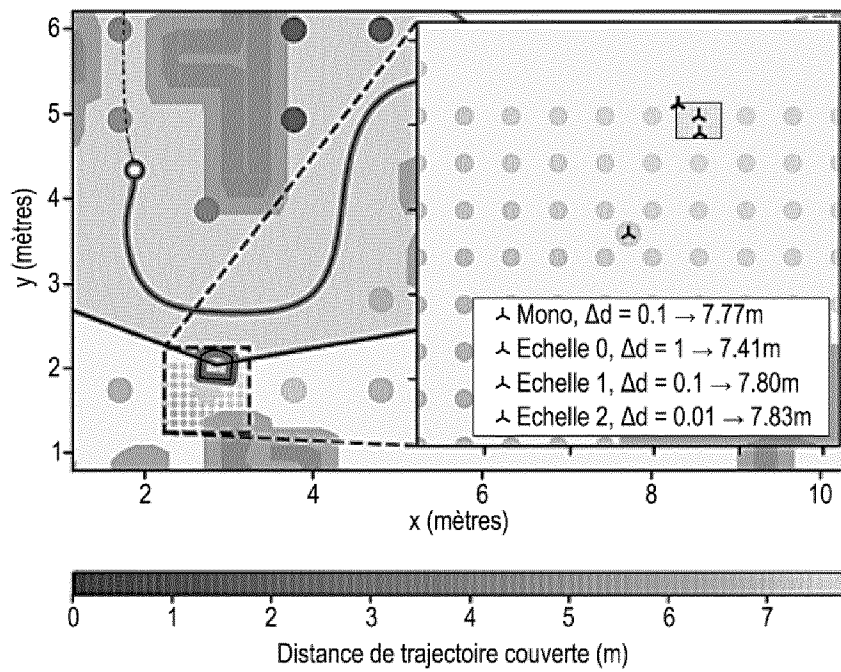
[Fig. 11]



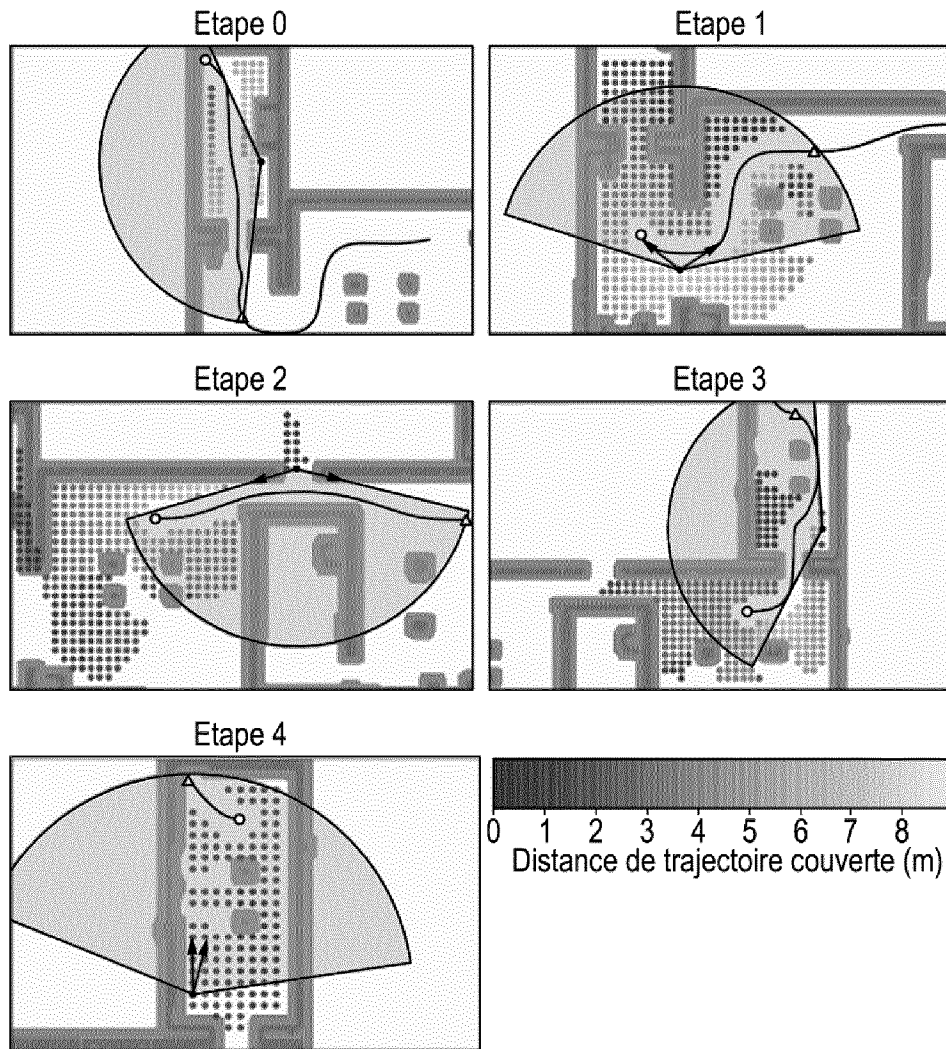
[Fig. 12]



[Fig. 13]



[Fig. 14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/079206

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
G08B 13/196 (2006.01)i; H04N 7/18 (2006.01)i; G05D 1/02 (2006.01)i; G01C 21/00 (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G05D; G01C; H04N; G08B; B64C; G06V; G01S; G06T		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DUAN JUN ET AL. "VisualVital: An observation model for multiple sections of scenes" <i>2017 IEEE SMARTWORLD, UBIQUITOUS INTELLIGENCE & COMPUTING, ADVANCED & TRUSTED COMPUTED, SCALABLE COMPUTING & COMMUNICATIONS, CLOUD & BIG DATA COMPUTING, INTERNET OF PEOPLE AND SMART CITY INNOVATION (SMARTWORLD/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCOM/IOP/SCI), IEEE</i> , 04 August 2017 (2017-08-04), pages 1-8 DOI: 10.1109/UIC-ATC.2017.8397546 XP033365961 page 1, right-hand column, last paragraph; page 2, left-hand column, first paragraph; page 2, right-hand column, last paragraph; page 3, right-hand column, second paragraph; page 4, left-hand column, paragraph D, paragraph IV; page 4, right-hand column, algorithm 1, figures 1, 3.	1-12
A	US 2015348235 A1 (BOUFOUNOS PETROS T [US] ET AL) 03 December 2015 (2015-12-03) paragraphs [0014], [0023], [0043]-[0047]; figures 1, 5.	1-12
A	US 2017205490 A1 (MATHEW GEORGE A [US] ET AL) 20 July 2017 (2017-07-20) paragraphs [0002], [0044]-[0045]; figures 6A-6C.	1-12
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 17 January 2023		Date of mailing of the international search report 26 January 2023
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Roch, Vincent Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/079206

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 3846067 A1 (DATA SMART PROCESS [FR]) 07 July 2021 (2021-07-07) paragraphs [0073]-[0074]; figure 3.	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/079206

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2015348235	A1	03 December 2015	JP	6468941	B2	13 February 2019
				JP	2015230729	A	21 December 2015
				US	2015348235	A1	03 December 2015

US	2017205490	A1	20 July 2017	EP	3172587	A1	31 May 2017
				US	2017205490	A1	20 July 2017
				WO	2016014328	A1	28 January 2016

EP	3846067	A1	07 July 2021	EP	3846067	A1	07 July 2021
				FR	3105865	A1	02 July 2021

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2022/079206

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G08B13/196 H04N7/18 G05D1/02 G01C21/00 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G05D G01C H04N G08B B64C G06V G01S G06T		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DUAN JUN ET AL: "VisualVital: An observation model for multiple sections of scenes", 2017 IEEE SMARTWORLD, UBIQUITOUS INTELLIGENCE & COMPUTING, ADVANCED & TRUSTED COMPUTED, SCALABLE COMPUTING & COMMUNICATIONS, CLOUD & BIG DATA COMPUTING, INTERNET OF PEOPLE AND SMART CITY INNOVATION (SMARTWORLD/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCOM/IOP/SCI), IEEE, 4 août 2017 (2017-08-04), pages 1-8, XP033365961, DOI: 10.1109/UIC-ATC.2017.8397546 Page 1 colonne de droite dernier paragraphe, page 2 colonne de gauche premier paragraphe, page 2 colonne de droite dernier -/--	1-12
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe	
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention	
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date	"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément	
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)	"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier	
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens	"&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
17 janvier 2023	26/01/2023	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé Roch, Vincent	

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
	<p>paragraphe, page 3 colonne de droite deuxième paragraphe, page 4 colonne de gauche paragraphe D, paragraphe IV, page 4 colonne de droite Algorithm 1, Figures 1, 3.</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	
A	<p>US 2015/348235 A1 (BOUFONOS PETROS T [US] ET AL) 3 décembre 2015 (2015-12-03) Paragrapes [0014], [0023], [0043]-[0047]; Figures 1, 5.</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12
A	<p>US 2017/205490 A1 (MATHEW GEORGE A [US] ET AL) 20 juillet 2017 (2017-07-20) Paragrapes [0002], [0044]-[0045]; Figures 6A-6C.</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12
A	<p>EP 3 846 067 A1 (DATA SMART PROCESS [FR]) 7 juillet 2021 (2021-07-07) Paragrapes [0073]-[0074]; Figure 3.</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2022/079206

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2015348235 A1	03-12-2015	JP 6468941 B2	13-02-2019
		JP 2015230729 A	21-12-2015
		US 2015348235 A1	03-12-2015

US 2017205490 A1	20-07-2017	EP 3172587 A1	31-05-2017
		US 2017205490 A1	20-07-2017
		WO 2016014328 A1	28-01-2016

EP 3846067 A1	07-07-2021	EP 3846067 A1	07-07-2021
		FR 3105865 A1	02-07-2021
