

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé et dispositif de détermination d'une cartographie d'un environnement tridimensionnel et système de cartographie associé.

⑫② Date de dépôt : 25.06.21.

⑫③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *FONDATION B-COM* Fondation — FR et *UNIVERSITÉ DE RENNES I* Etablissement public national à caractère scientifique culturel et professionnel — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 30.12.22 Bulletin 22/52.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 04.08.23 Bulletin 23/31.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : GONZALEZ Mathieu, MARCHAND Eric, KACETE Amine et ROYAN Jérôme.

⑦③ Titulaire(s) : FONDATION B-COM Fondation.

⑦④ Mandataire(s) : JACOBACCI CORALIS HARLE.



Description

Titre de l'invention : Procédé et dispositif de détermination d'une cartographie d'un environnement tridimensionnel et système de cartographie associé

Domaine technique de l'invention

- [0001] La présente invention concerne le domaine technique de la localisation et la cartographie simultanées d'un équipement électronique dans un environnement tridimensionnel.
- [0002] Elle concerne en particulier un procédé et un dispositif de détermination d'une cartographie d'un environnement tridimensionnel et un système de cartographie associé.

Etat de la technique

- [0003] Les systèmes SLAM (pour « *Simultaneous localization and mapping* » selon l'acronyme d'origine anglo-saxonne couramment utilisé) sont connus pour permettre une localisation et une cartographie simultanées d'un mobile équipé d'un dispositif d'acquisition d'image, par exemple une caméra, dans un environnement tridimensionnel.
- [0004] De manière classique, un tel système se base sur une analyse des images acquises par la caméra. Plus particulièrement, des points de la dernière image acquise sont mis en correspondance avec les points correspondant des images acquises précédemment. Une triangulation est ensuite réalisée afin d'obtenir à la fois une représentation tridimensionnelle de l'environnement concerné et la pose du dispositif d'acquisition d'image dans cet environnement. Une optimisation (également appelée « *Bundle adjustment* » selon l'expression d'origine anglo-saxonne couramment utilisée) permet d'affiner la position des points formant la représentation tridimensionnelle.
- [0005] Cependant, cette étape d'optimisation est assez complexe et coûteuse à mettre en œuvre car elle nécessite l'analyse de l'ensemble des points des images acquises.

Présentation de l'invention

- [0006] Dans ce contexte, la présente invention propose d'améliorer la détermination de la cartographie de l'environnement tridimensionnel, et en particulier d'améliorer l'étape d'optimisation.
- [0007] Plus particulièrement, on propose, selon l'invention, un procédé de détermination d'une cartographie d'un environnement tridimensionnel, comprenant une pluralité d'objets, sur la base d'au moins une première image et une deuxième image dudit environnement tridimensionnel, ladite première image et ladite deuxième image étant respectivement acquises par un dispositif d'acquisition d'image présentant deux poses différentes, le procédé comprenant des étapes de :

- détermination d'une pluralité d'éléments caractéristiques communs dans la première image et la deuxième image dudit environnement tridimensionnel,
- détermination de groupes d'éléments caractéristiques au moyen d'une analyse d'images de telle sorte que chaque groupe d'éléments caractéristiques corresponde à un objet de l'environnement tridimensionnel,
- estimation d'une position tridimensionnelle des éléments caractéristiques sur la base d'une triangulation entre les positions des éléments caractéristiques dans la première image et les positions des éléments caractéristiques correspondants dans la deuxième image, et
- pour chaque groupe d'éléments caractéristiques, optimisation des positions tridimensionnelles des éléments caractéristiques du groupe concerné par minimisation d'une variable d'erreur fonction, pour l'ensemble des éléments caractéristiques du groupe concerné, d'une distance entre une position détectée desdits éléments caractéristiques issue au moins de la première image et une position bidimensionnelle associée à la position tridimensionnelle estimée correspondante.

[0008] Ainsi, de manière avantageuse, les positions tridimensionnelles sont optimisées, dans un premier temps, pour des groupes d'éléments identifiés et non sur l'ensemble des éléments caractéristiques de l'image. Cela permet de simplifier cette optimisation et de réduire le temps de traitement nécessaire. La cartographie de l'environnement tridimensionnel peut donc être obtenue de manière plus rapide.

[0009] D'autres caractéristiques non limitatives et avantageuses du procédé conforme à l'invention, prises individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles, sont les suivantes :

[0010] - l'étape d'estimation de la position tridimensionnelle des éléments caractéristiques est mise en œuvre pour chaque groupe d'éléments caractéristiques sur la base, pour chaque groupe d'éléments caractéristiques, d'une triangulation entre les positions des éléments caractéristiques du groupe concerné dans la première image et les positions des éléments caractéristiques correspondantes dans la deuxième image ;

[0011] - la détermination d'éléments caractéristiques utilise une méthode d'identification de zones distinctives correspondant à des formes présentes dans la première image et dans la deuxième image ;

[0012] - l'identification des groupes d'éléments caractéristiques utilise un réseau neuronal recevant en entrée une image de l'environnement tridimensionnel et fournissant en sortie une classe pour chacun des pixels de l'image concernée, ce qui permet d'obtenir une classification desdits pixels ;

[0013] - les groupes d'éléments caractéristiques sont obtenus à partir des classes attribuées aux éléments caractéristiques, par exemple en utilisant, pour chaque élément caractéristique, la classe fournie par le réseau neuronal pour le pixel correspondant ;

- [0014] - il est prévu, après l'étape de détermination des positions tridimensionnelles optimisées, une autre étape d'optimisation, pour tous les éléments caractéristiques identifiés, de la position tridimensionnelle optimisée sur la base d'une minimisation d'une variable d'erreur fonction, pour l'ensemble des éléments caractéristiques identifiés, d'une distance entre la position détectée desdits éléments caractéristiques issue au moins de la première image et une position bidimensionnelle associée à la position tridimensionnelle optimisée correspondante ;
- [0015] - l'étape d'estimation comprend une sous-étape de détermination d'une pose du dispositif d'acquisition d'image ;
- [0016] - la position bidimensionnelle (telle qu'utilisée à l'une ou l'autre des étapes d'optimisation) est également associée à la pose du dispositif d'acquisition d'image déterminée ;
- [0017] - il est prévu une étape de sélection de groupes d'éléments caractéristiques sur la base de la nature des objets associés, l'étape de détermination des positions tridimensionnelles optimisées étant mise en œuvre seulement pour les éléments caractéristiques des groupes sélectionnés ;
- [0018] - l'étape de détermination des positions tridimensionnelles optimisées comprenant une sous-étape d'identification d'un type d'objet, la variable d'erreur est minimisée en fonction du type d'objet identifié pour le groupe de éléments caractéristiques concerné ; et
- [0019] - la variable d'erreur est minimisée en fonction d'une caractéristique géométrique associée à l'objet concerné.
- [0020] Ainsi, si l'objet concerné est plan, cette caractéristique géométrique est prise en compte pour l'optimisation et cela permet également un traitement plus rapide.
- [0021] La présente invention concerne également un dispositif de détermination d'une cartographie d'un environnement tridimensionnel, comprenant une pluralité d'objets, sur la base d'au moins une première image et une deuxième image dudit environnement tridimensionnel, ladite première image et ladite deuxième image étant respectivement acquises par un dispositif d'acquisition d'image présentant deux poses différentes, ledit dispositif de détermination comprenant :
 - un module de détermination d'une pluralité d'éléments caractéristiques communs dans la première image et la deuxième image dudit environnement tridimensionnel,
 - un module de détermination de groupes d'éléments caractéristiques au moyen d'une analyse d'images de telle sorte que chaque groupe d'éléments caractéristiques corresponde à un objet de l'environnement tridimensionnel,
 - un module d'estimation d'une position tridimensionnelle des éléments caractéristiques sur la base d'une triangulation entre les positions des éléments caractéristiques du groupe concerné dans la première image et les positions des éléments ca-

ractéristiques correspondants dans la deuxième image, et

- un module d'optimisation, pour chaque groupe d'éléments caractéristiques, des positions tridimensionnelles des éléments caractéristiques du groupe concerné par minimisation d'une variable d'erreur fonction, pour l'ensemble des éléments caractéristiques du groupe concerné, d'une distance entre une position détectée desdits éléments caractéristiques issue au moins de la première image et une position bidimensionnelle associée à la position tridimensionnelle estimée correspondante.

[0022] La présente invention concerne encore un système de cartographie d'un environnement tridimensionnel comprenant un dispositif de détermination d'une cartographie d'un environnement tridimensionnel tel qu'introduit précédemment et un dispositif d'acquisition d'image.

[0023] Bien entendu, les différentes caractéristiques, variantes et formes de réalisation de l'invention peuvent être associées les unes avec les autres selon diverses combinaisons dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes des autres.

Description détaillée de l'invention

[0024] De plus, diverses autres caractéristiques de l'invention ressortent de la description annexée effectuée en référence aux dessins qui illustrent des formes, non limitatives, de réalisation de l'invention et où :

[0025] [Fig.1] représente schématiquement les éléments principaux d'un système de cartographie d'un environnement tridimensionnel conforme à l'invention,

[0026] [Fig.2] représente une première image d'un environnement tridimensionnel selon une première pose d'un dispositif d'acquisition d'image,

[0027] [Fig.3] représente une deuxième image d'un environnement tridimensionnel selon une deuxième pose du dispositif d'acquisition d'image,

[0028] [Fig.4] représente, sous forme de logigramme, un premier exemple de procédé de détermination d'une cartographie d'un environnement tridimensionnel conforme à l'invention,

[0029] [Fig.5] représente un exemple de réseau neuronal utilisé dans le système de cartographie de la [Fig.2], et

[0030] [Fig.6] représente, sous forme de logigramme, un deuxième exemple de procédé de détermination d'une cartographie d'un environnement tridimensionnel conforme à l'invention.

[0031] Il est à noter que, sur ces figures, les éléments structurels et/ou fonctionnels communs aux différentes variantes peuvent présenter les mêmes références.

[0032] La [Fig.1] représente les éléments principaux d'un système de cartographie 1 d'un environnement tridimensionnel conforme à l'invention.

[0033] Le système de cartographie 1 comprend un dispositif d'acquisition d'image 5 et un

- dispositif de détermination d'une cartographie 10 de l'environnement tridimensionnel.
- [0034] Le dispositif d'acquisition d'image 5 est conçu pour acquérir au moins une image de l'environnement tridimensionnel d'intérêt. En pratique, le dispositif d'acquisition d'image 5 est par exemple une caméra monoculaire RGB permettant d'acquérir des images de l'environnement tridimensionnel.
- [0035] Les figures 2 et 3 représentent respectivement une première image et une deuxième image d'un environnement tridimensionnel, acquises par le dispositif d'acquisition d'image 5. La première image et la deuxième image sont acquises pour deux poses différentes du dispositif d'acquisition d'image 5. Par définition, la pose du dispositif d'acquisition d'image 5 est définie selon six degrés de liberté (trois degrés de rotation et trois degrés de translation).
- [0036] Comme le montrent les figures 2 et 3, l'environnement tridimensionnel comprend une pluralité d'objets. Ici, cet environnement tridimensionnel comprend notamment trois écrans 20, 22, 24, un clavier 25, une souris d'ordinateur 27, un livre 28, un stylo 29 et une tasse 30.
- [0037] Comme cela est visible sur les figures 2 et 3, certains objets sont représentés sur la première image et pas sur la deuxième image ou inversement, cela dépendant de la pose du dispositif d'acquisition d'image 5. Par exemple, le livre 28 est visible sur la deuxième image mais pas sur la première image.
- [0038] Le dispositif de détermination d'une cartographie 10 est conçu pour traiter les images acquises par le dispositif d'acquisition d'image 5. Pour cela, le dispositif de détermination d'une cartographie 10 comprend un calculateur 12. Ce calculateur 12 comporte un processeur, par exemple un microprocesseur, et une mémoire interne. La mémoire interne mémorise notamment des instructions de programme d'ordinateur. Ces instructions de programme d'ordinateur permettent, lorsqu'elles sont exécutées par le processeur, la mise en œuvre par le calculateur 12 de certaines fonctionnalités comme la mise en œuvre d'un procédé de détermination d'une cartographie de l'environnement tridimensionnel décrit ci-après en référence aux figures 4 et 6. En particulier, le calculateur 12 est par exemple conçu pour mettre en œuvre un réseau neuronal NN, intervenant dans le procédé de détermination d'une cartographie de l'environnement tridimensionnel décrit ci-après.
- [0039] La [Fig.4] représente, sous forme de logigramme, un premier exemple de procédé de détermination d'une cartographie de l'environnement tridimensionnel mis en œuvre par le calculateur 12.
- [0040] Ce procédé débute à l'étape E2 lors de laquelle le dispositif d'acquisition d'image 5 acquiert une pluralité d'images de l'environnement tridimensionnel. Chacune des images de la pluralité d'images est acquise pour une pose différente du dispositif d'acquisition d'images.

- [0041] Dans l'exemple présenté dans la suite, à l'étape E2, le dispositif d'acquisition d'images acquiert la première image, par exemple représentée sur la [Fig.2], et la deuxième image, représentée sur la [Fig.3].
- [0042] Les images acquises par le dispositif d'acquisition d'image 5 sont ensuite traitées par le calculateur 12 du dispositif de détermination d'une cartographie 10.
- [0043] En particulier, lors de l'étape E4, le calculateur 12 détermine une pluralité d'éléments caractéristiques présents sur les images acquises à l'étape E2. Par « éléments caractéristiques », on entend ici des pixels de l'image comprenant des formes caractéristiques.
- [0044] En pratique, le calculateur 12 utilise une méthode d'identification, dans les images acquises à l'étape E2, de zones distinctives correspondant à des formes présentes dans l'image analysée. Cette méthode d'identification est par exemple une méthode ORB pour « *Oriented Fast and Rotated BRIEF* ». Plus de détails sur cette méthode sont disponibles dans l'article « ORB : an efficient alternative to SIFT or SURF » de E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige et G. Bradski, 2011 International Conference on Computer Vision, pp. 2564-2571, doi: 10.1109/ICCV.2011.6126544, 2011.
- [0045] Par exemple, lors de cette étape, le calculateur 12 identifie les coins ou les bordures présents dans l'image concernée. Ces éléments caractéristiques sont par exemple alors des points caractéristiques de l'image ou des segments caractéristiques de l'image.
- [0046] En considérant la première image et la deuxième image représentées respectivement sur les figures 1 et 2, lors de l'étape E4, le calculateur 12 détermine les éléments caractéristiques communs à ces deux images. Plus particulièrement ici, le calculateur 12 identifie ici, comme points caractéristiques, les coins des écrans 20, 22, 24 ou les extrémités du stylo 29. Le calculateur 12 détermine également, comme segments caractéristiques, le corps long du stylo 29, les côtés latéraux des écrans 20, 22, 24 ou encore les côtés latéraux du clavier 25. Cependant, le calculateur 12 n'identifie pas ici les coins ou les côtés latéraux du livre 28 car le livre n'est pas visible sur la première image ici. Seuls les éléments caractéristiques communs à la première image et à la deuxième image sont déterminés ici.
- [0047] Comme le montre la [Fig.4], le procédé se poursuit ensuite à l'étape E6. Selon ce premier exemple du procédé, lors de cette étape, le calculateur 12 détermine des groupes d'éléments caractéristiques. Chaque groupe d'éléments caractéristiques correspond normalement en pratique à un objet de l'environnement tridimensionnel.
- [0048] Dans l'exemple décrit ici, l'identification des groupes d'éléments caractéristiques est mise en œuvre par l'intermédiaire d'au moins un réseau neuronal NN.
- [0049] Le calculateur 12 fournit, en entrée de ce réseau neuronal NN, une image acquise par le dispositif d'acquisition d'image 5 à l'étape E2. Ce réseau neuronal NN est conçu pour fournir en sortie, pour chaque pixel de l'image concernée, une classe associée à un objet de l'environnement tridimensionnel.

- [0050] Ce réseau neuronal NN a donc une fonction de classification des pixels de l'image vis-à-vis des objets présents dans l'environnement tridimensionnel. En particulier, cette fonction de classification s'applique aux éléments caractéristiques déterminés à l'étape E4 conduisant alors à la détermination de groupes d'éléments caractéristiques, chaque groupe correspondant à une classe (c'est-à-dire en pratique étant associé à un objet de l'environnement tridimensionnel).
- [0051] En pratique, le réseau neuronal NN comprend ici trois parties 32, 34, 36 ([Fig.5]). Chaque parties 32, 34, 36 comprend plusieurs dizaines de couches de neurones, typiquement entre 50 et 100 couches de neurones pour chaque partie 32, 34, 36.
- [0052] La première partie 32 est conçue pour extraire les zones distinctives de l'image concernée. La deuxième partie 34 et la troisième partie 36 sont conçues pour générer des groupes dans l'image à partir des zones distinctives extraites par la première partie 32. Ces deuxième partie 34 et troisième partie 36 permettent donc de générer la classification des pixels de l'image. Plus particulièrement, la deuxième partie 34 permet de classer les éléments dits « indénombrables », tels que par exemple un élément « ciel » ou un élément « route », des éléments dits « dénombrables », comme un élément « voiture ». Toutefois, pour les éléments dénombrables, cette deuxième partie 34 n'est pas adaptée à les séparer de manière individuelle. Par exemple, la deuxième partie 34 identifie une zone comprenant des voitures mais ne peut pas distinguer les voitures les unes des autres.
- [0053] La troisième partie 36 permet alors, quant à elle, d'affiner la classification en distinguant les éléments dénombrables les uns des autres dans une zone distinctive extraite par la première partie 32. Par exemple, après l'identification de la zone « voitures », la troisième partie 36 est conçue pour permettre de différencier les voitures les unes des autres dans cette zone.
- [0054] Un tel réseau neuronal est par exemple décrit dans l'article « *Panoptic Feature Pyramid Networks* », de A. Kirillov, R. Girshick, K. He, P. Dollar, 6392-6401. 10.1109/CVPR.2019.00656, 2019.
- [0055] Préalablement à la mise en œuvre du procédé de détermination, une étape d'apprentissage (non représentée sur les figures) permet l'entraînement de ce réseau neuronal NN. Pour cela, un ensemble d'images de base est utilisé. Pour chaque image de base de cet ensemble, chaque pixel est associé de manière prédéterminée à un objet de l'environnement tridimensionnel, c'est-à-dire en pratique à une classe correspondant à cet objet. Les poids des neurones sont alors ajustés au fur et à mesure de l'étape d'apprentissage.
- [0056] En variante, un réseau neuronal combiné à un algorithme peut être utilisé. Dans ce cas, le réseau neuronal fournit par exemple en sortie des ensembles de pixels de l'image associés aux différents objets de l'environnement tridimensionnel. Ces

ensembles de pixels obtenus en sortie sont ensuite analysés séparément par un algorithme afin d'extraire les éléments caractéristiques dans chacun des ensembles de pixels. Cela permet alors d'obtenir les groupes d'éléments caractéristiques.

- [0057] Ainsi, à l'issue de l'étape E6, le calculateur a identifié des groupes d'éléments caractéristiques qui correspondent aux différents objets de l'environnement tridimensionnel.
- [0058] Ainsi, en considérant les exemples des figures 2 et 3, à l'issue de l'étape E6, le calculateur 12 détermine par exemple un groupe d'éléments caractéristiques associé à un premier écran 20, un autre groupe associé à un deuxième écran 22 ou encore un autre groupe d'éléments caractéristiques associé au clavier 25. En revanche, le calculateur 12 n'identifie pas de groupe d'éléments caractéristiques associé au livre 29 car ce dernier n'est pas visible sur la première image.
- [0059] Le procédé comprend ensuite l'étape E8 lors de laquelle le calculateur 12 estime une position tridimensionnelle de chaque donnée caractéristique déterminée à l'étape E4. Dans ce premier exemple du procédé, cette estimation est réalisée par groupe d'éléments caractéristiques identifié à l'étape E6.
- [0060] La position tridimensionnelle de chaque donnée caractéristique de chaque groupe identifié est déterminée au moyen d'une triangulation entre les différentes positions de la donnée caractéristique concernée (du groupe correspondant) sur une pluralité des images acquises par le dispositif d'acquisition d'image 5 à l'étape E2.
- [0061] Par exemple, en considérant le coin C1 de l'écran 20 (figures 2 et 3), la position tridimensionnelle est estimée à partir de la position du coin C1 dans la première image et de la position de ce même coin C1 dans la deuxième image.
- [0062] En parallèle de cette estimation des positions tridimensionnelles d'éléments caractéristiques, le calculateur 12 détermine également la pose du dispositif d'acquisition d'image 5 sur la base de l'ensemble des éléments caractéristiques identifiés à l'étape E8. En pratique, la pose du dispositif d'acquisition d'image 5 est déterminée par optimisation d'une fonction de coût. Cette fonction de coût minimise une distance entre les positions des éléments caractéristiques sur chacune des images acquises par le dispositif d'acquisition d'image 5 à l'étape E2 et des positions bidimensionnelles associées aux positions tridimensionnelles préalablement estimées des éléments caractéristiques.
- [0063] Plus précisément, le calculateur 12 détermine une fonction de projection bidimensionnelle qui considère, en tant que variables d'entrée, les positions tridimensionnelles préalablement estimées des éléments et la pose du dispositif d'acquisition d'image 5. La fonction de projection bidimensionnelle fournit alors, en tant que résultat, les positions bidimensionnelles des éléments caractéristiques concernés. En pratique, le calculateur 12 fait varier la pose du dispositif d'acquisition d'image 5 et cherche les valeurs de cette pose qui minimisent la distance entre les positions bidimensionnelles

produites par la fonction de projection et les positions bidimensionnelles observées sur les images acquises à l'étape E2.

- [0064] Comme le montre la [Fig.4], le procédé se poursuit ensuite à l'étape E12. Lors de cette étape, pour chaque groupe d'éléments caractéristiques identifié à l'étape E6, le calculateur 12 met en œuvre une étape d'optimisation des positions tridimensionnelles des éléments caractéristiques du groupe concerné et déterminées à l'étape E8.
- [0065] Pour cela, le calculateur 12 détermine la distance, préalablement introduite, entre les positions des éléments caractéristiques concernés (du groupe correspondant) sur chacune des images acquises par le dispositif d'acquisition d'image 5 à l'étape E2 et des positions bidimensionnelles associées aux positions tridimensionnelles préalablement estimées des éléments caractéristiques (dans le groupe concerné). En d'autres termes ici, cette distance n'est déterminée que pour les éléments caractéristiques du groupe concerné.
- [0066] Plus précisément, le calculateur 12 détermine également ici la fonction de projection bidimensionnelle qui considère, en tant que variables d'entrée, les positions tridimensionnelles préalablement estimées des éléments caractéristiques du groupe concerné et la pose du dispositif d'acquisition d'image 5. La fonction de projection bidimensionnelle fournit alors, en tant que résultat, les positions bidimensionnelles des éléments caractéristiques concernés (du groupe correspondant). En pratique, le calculateur 12 fait donc varier ici les positions tridimensionnelles et la pose du dispositif d'acquisition d'image 5 déterminées et cherche les valeurs de ces grandeurs qui minimisent la distance entre les positions bidimensionnelles produites par la fonction de projection et les positions bidimensionnelles observées sur les images acquises à l'étape E2.
- [0067] Ainsi, l'étape d'optimisation consiste à minimiser, pour l'ensemble des éléments caractéristiques d'un groupe concerné, une variable d'erreur fonction de la distance entre les positions des éléments caractéristiques concernés (du groupe correspondant) sur chacune des images acquises par le dispositif d'acquisition d'image 5 à l'étape E2 et des positions bidimensionnelles associées aux positions tridimensionnelles des éléments caractéristiques (dans le groupe concerné).
- [0068] A l'issue de l'étape E12, le calculateur 12 détermine alors des positions tridimensionnelles optimisées sur la base de la variable d'erreur minimisée. La pose du dispositif d'acquisition d'image 5 est également optimisée lors de cette étape E12.
- [0069] Le procédé comprend ensuite l'étape E14. Lors de cette étape, le calculateur 12 met en œuvre une autre étape d'optimisation, cette fois-ci concernant l'ensemble des éléments caractéristiques déterminés à l'étape E4 (et pas uniquement les éléments caractéristiques de chaque groupe identifié à l'étape E6). Cette autre étape d'optimisation vise à affiner les positions tridimensionnelles optimisées obtenues à l'issue de l'étape

E12.

- [0070] Cette autre étape d'optimisation est mise en œuvre de la même manière que l'étape d'optimisation E12, par minimisation de la variable d'erreur fonction de la distance entre les positions des éléments caractéristiques sur chacune des images acquises par le dispositif d'acquisition d'image 5 à l'étape E2 et des positions bidimensionnelles associées aux positions tridimensionnelles optimisées des éléments caractéristiques. Cette autre étape d'optimisation est allégée grâce au traitement effectué lors de l'étape d'optimisation (étape E12) préalablement mise en œuvre.
- [0071] A l'issue de l'étape E14, le calculateur 12 détermine alors des positions tridimensionnelles affinées. La pose du dispositif d'acquisition d'image 5 est également optimisée à nouveau lors de cette étape E14.
- [0072] Le calculateur 12 détermine enfin une cartographie de l'environnement tridimensionnel sur la base des positions tridimensionnelles affinées et la pose du dispositif d'acquisition d'image 5 (étape E16).
- [0073] La [Fig.6] représente, sous forme de logigramme, un deuxième exemple de procédé de détermination d'une cartographie de l'environnement tridimensionnel mis en œuvre par le calculateur 12.
- [0074] Selon ce deuxième exemple, le procédé débute à l'étape E32 dans laquelle, de manière similaire à l'étape E2 décrite précédemment, le dispositif d'acquisition d'image 5 acquiert une pluralité d'images de l'environnement tridimensionnel. Chacune des images de la pluralité d'images est acquise pour une pose différente du dispositif d'acquisition d'images.
- [0075] A l'étape E34, de manière similaire à l'étape E4, le calculateur 12 détermine une pluralité d'éléments caractéristiques présents sur les images acquises à l'étape E2.
- [0076] Comme cela est visible sur la [Fig.6], le procédé se poursuit ensuite à l'étape E36. Lors de cette étape, le calculateur 12 estime une position tridimensionnelle de chaque donnée caractéristique déterminée à l'étape E34. Dans ce deuxième exemple du procédé, cette estimation est réalisée pour l'ensemble des éléments caractéristiques identifiés à l'étape E34. En d'autres termes, l'étape E36 est similaire à l'étape E8 décrite précédemment, mais l'étape E36 est mise en œuvre pour l'ensemble des éléments caractéristiques (et pas uniquement pour les éléments caractéristiques des groupes identifiés).
- [0077] Dans ce deuxième exemple, le procédé se poursuit par l'étape E38 lors de laquelle le calculateur 12 détermine des groupes d'éléments caractéristiques. Comme lors de l'étape E6 du premier exemple du procédé, chaque groupe d'éléments caractéristiques est associé à un objet de l'environnement tridimensionnel au moyen des images acquises ici lors de l'étape E32.
- [0078] Les étapes E42 et E44 permettent ensuite d'optimiser les positions tridimensionnelles

déterminées à l'étape E36 de manière similaire à celle décrite précédemment dans les étapes E12 et E14.

- [0079] Finalement, comme à l'étape E16, le calculateur 12 détermine enfin une cartographie de l'environnement tridimensionnel sur la base des positions tridimensionnelles affinées et la pose du dispositif d'acquisition d'image 5 (étape E46).
- [0080] Finalement, ce deuxième exemple du procédé est similaire au premier exemple décrit précédemment, les seules différences résultant en une inversion et un ajustement des étapes E6 et E8 en les étapes E36 et E38.
- [0081] En variante (pour le premier et le deuxième exemples du procédé), l'étape de détermination des positions tridimensionnelles optimisées (étapes E12 et E32) présente, préalablement la minimisation de la variable d'erreur, une étape d'identification des types d'objets associés aux différents groupes déterminés. Pour cela, le calculateur 12 mémorise par exemple une base de données d'une pluralité d'objets et de leurs caractéristiques.
- [0082] Par exemple, cette base de données recense les caractéristiques géométriques des différents objets. Par exemple, une caractéristique planaire sera associée à l'objet « livre ».
- [0083] La méthode de minimisation de la variable d'erreur est alors ensuite adaptée au type d'objet. Par exemple, cette minimisation peut être fonction des caractéristiques géométriques de l'objet concerné.
- [0084] En variante encore (pour le premier et le deuxième exemple du procédé), le procédé peut comprendre, après l'étape de détermination des groupes d'éléments caractéristiques, une étape de sélection de certains des groupes déterminés en fonction de la nature des objets auxquels ils sont associés.
- [0085] Par nature des objets, on entend ici, par exemple, le caractère statique ou dynamique d'un objet. Le sol ou le ciel sont par exemples des objets dits statiques. Par exemple, seuls les objets dits dynamiques sont sélectionnés pour l'étape d'optimisation.
- [0086] Dans cette variante, l'étape d'optimisation (étape E10 ou E40) est alors mise en œuvre ensuite pour les éléments caractéristiques des groupes sélectionnés. Les positions tridimensionnelles optimisées sont donc déterminées pour ces éléments caractéristiques des groupes sélectionnés.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de détermination d'une cartographie d'un environnement tridimensionnel, comprenant une pluralité d'objets (20, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30), sur la base d'au moins une première image et une deuxième image dudit environnement tridimensionnel, ladite première image et ladite deuxième image étant respectivement acquises par un dispositif d'acquisition d'image (5) présentant deux poses différentes, le procédé comprenant des étapes de :
- détermination (E4 ; E34) d'une pluralité d'éléments caractéristiques communs dans la première image et la deuxième image dudit environnement tridimensionnel,
 - détermination (E6 ; E38) de groupes d'éléments caractéristiques au moyen d'une analyse d'images de telle sorte que chaque groupe d'éléments caractéristiques corresponde à un objet (20, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30) de l'environnement tridimensionnel,
 - estimation (E8 ; E36) d'une position tridimensionnelle des éléments caractéristiques sur la base d'une triangulation entre les positions des éléments caractéristiques dans la première image et les positions des éléments caractéristiques correspondants dans la deuxième image, l'étape d'estimation (E8 ; E36) comprenant une sous-étape de détermination d'une pose du dispositif d'acquisition d'image, et
 - pour chaque groupe d'éléments caractéristiques, optimisation (E12 ; E42) des positions tridimensionnelles des éléments caractéristiques du groupe concerné par minimisation d'une variable d'erreur fonction, pour l'ensemble des éléments caractéristiques du groupe concerné, d'une distance entre une position détectée desdits éléments caractéristiques issue au moins de la première image et une position bidimensionnelle obtenue par application d'une fonction de projection à la position tridimensionnelle estimée correspondante.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape d'estimation (E8) de la position tridimensionnelle des éléments caractéristiques est mise en œuvre pour chaque groupe d'éléments caractéristiques sur la base, pour chaque groupe d'éléments caractéristiques, d'une triangulation entre les positions des éléments caractéristiques du groupe concerné dans la première image et les positions des éléments caractéristiques correspondantes dans la deuxième image.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la détermination

d'éléments caractéristiques utilise une méthode d'identification de zones distinctives correspondant à des formes présentes dans la première image et dans la deuxième image.

- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'identification des groupes d'éléments caractéristiques utilise un réseau neuronal (NN) recevant en entrée une image de l'environnement tridimensionnel et fournissant en sortie une classe pour chacun des pixels de l'image concernée.
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 4, dans lequel les groupes d'éléments caractéristiques sont obtenus à partir des classes attribuées aux éléments caractéristiques.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant, après l'étape de détermination des positions tridimensionnelles optimisées, une autre étape d'optimisation (E14 ; E44), pour tous les éléments caractéristiques identifiés, de la position tridimensionnelle optimisée sur la base d'une minimisation d'une variable d'erreur fonction, pour l'ensemble des éléments caractéristiques identifiés, d'une distance entre la position détectée desdits éléments caractéristiques issue au moins de la première image et une position bidimensionnelle associée à la position tridimensionnelle optimisée correspondante.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant une étape de sélection de groupes d'éléments caractéristiques sur la base de la nature des objets (20, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30) associés, l'étape de détermination des positions tridimensionnelles optimisées étant mise en œuvre seulement pour les éléments caractéristiques des groupes sélectionnés.
- [Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel, l'étape de détermination des positions tridimensionnelles optimisées comprenant une sous-étape d'identification d'un type d'objet, la variable d'erreur est minimisée en fonction du type d'objet identifié pour le groupe de éléments caractéristiques concerné.
- [Revendication 9] Procédé selon la revendication 8, dans lequel la variable d'erreur est minimisée en fonction d'une caractéristique géométrique associée à l'objet (20, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30) concerné.
- [Revendication 10] Dispositif de détermination d'une cartographie (10) d'un environnement tridimensionnel, comprenant une pluralité d'objets (20, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30), sur la base d'au moins une première image et une deuxième image dudit environnement tridimensionnel, ladite première image et

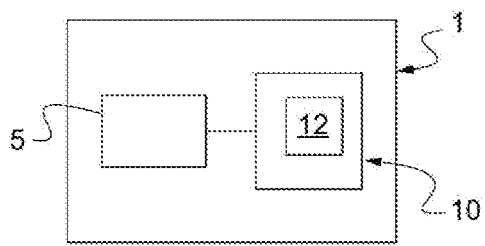
ladite deuxième image étant respectivement acquises par un dispositif d'acquisition d'image (5) présentant deux poses différentes, ledit dispositif de détermination comprenant :

- un module de détermination d'une pluralité d'éléments caractéristiques communs dans la première image et la deuxième image dudit environnement tridimensionnel,
- un module de détermination de groupes d'éléments caractéristiques au moyen d'une analyse d'images de telle sorte que chaque groupe d'éléments caractéristiques corresponde à un objet de l'environnement tridimensionnel,
- un module d'estimation d'une position tridimensionnelle des éléments caractéristiques sur la base d'une triangulation entre les positions des éléments caractéristiques du groupe concerné dans la première image et les positions des éléments caractéristiques correspondants dans la deuxième image, l'étape d'estimation (E8 ; E36) comprenant une sous-étape de détermination d'une pose du dispositif d'acquisition d'image, et
- un module d'optimisation, pour chaque groupe d'éléments caractéristiques, des positions tridimensionnelles des éléments caractéristiques du groupe concerné par minimisation d'une variable d'erreur fonction, pour l'ensemble des éléments caractéristiques du groupe concerné, d'une distance entre une position détectée desdits éléments caractéristiques issue au moins de la première image et une position bidimensionnelle obtenue par application d'une fonction de projection à la position tridimensionnelle estimée correspondante.

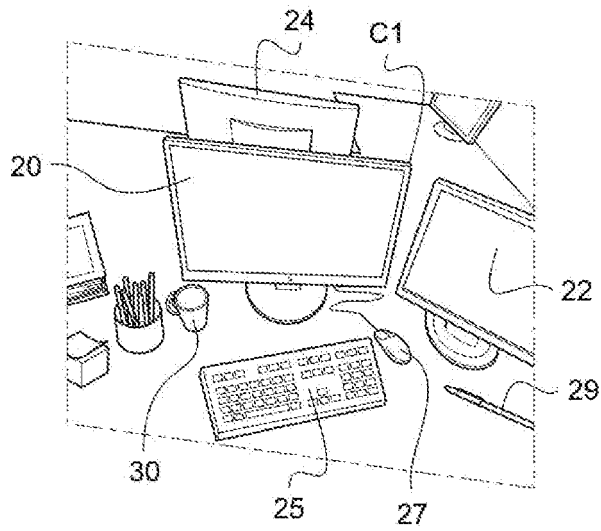
[Revendication 11]

Système de cartographie (1) d'un environnement tridimensionnel comprenant un dispositif de détermination d'une cartographie (10) d'un environnement tridimensionnel selon la revendication 10 et un dispositif d'acquisition d'image (5).

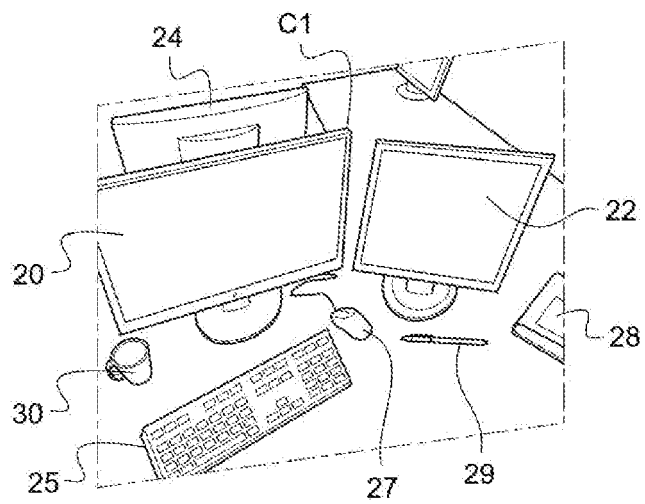
[Fig. 1]



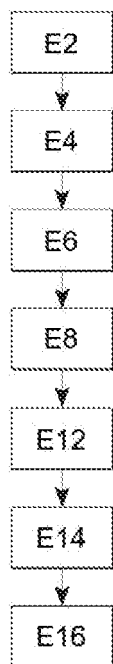
[Fig. 2]



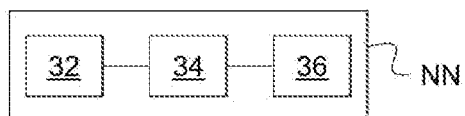
[Fig. 3]



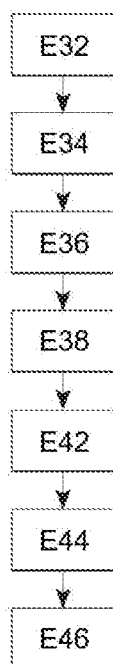
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

WO 2020/007483 A1 (NOKIA TECHNOLOGIES OY
[FI]) 9 janvier 2020 (2020-01-09)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT