

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

11 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

3 149 415

21 N° d'enregistrement national : 23 05453

51 Int Cl<sup>8</sup> : G 08 G 5/02 (2023.01), G 08 G 5/00, B 64 D 45/04,  
G 05 D 1/49, G 06 V 10/25, G 06 T 7/77

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 31.05.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 06.12.24 Bulletin 24/49.

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

60 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : AIRBUS OPERATIONS SAS — FR.

72 Inventeur(s) : RIVERO SESMA Juan.

73 Titulaire(s) : AIRBUS OPERATIONS SAS.

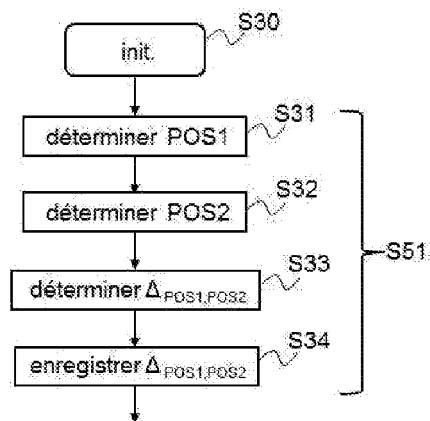
74 Mandataire(s) : LE GUEN & ASSOCIES.

54 PROCÉDE AMELIORE D'ASSISTANCE A L'ATERRISSAGE D'UN AERONEF ET SYSTEME CONFIGURE  
POUR EXECUTER LE PROCÉDE.

57 L'invention concerne un procédé d'assistance à l'atterrissage d'un aéronef (1) sur une piste d'atterrissage (100a) d'une installation aéroportuaire (100) de destination, ledit procédé comprenant deux déterminations (S31, S32) successives de la position (POS1, POS2) de l'aéronef (1) par rapport à ladite piste d'atterrissage (100a) et à partir d'une prise de vue (F) réalisée depuis l'aéronef (1), selon respectivement deux algorithmes (PnP, A2) différents de détermination de la position de l'aéronef (1), ainsi que la fourniture d'au moins une information (G, B) représentative d'un écart entre les deux positions (POS1, POS2) déterminées.

Il est ainsi avantageusement possible de vérifier si la piste d'atterrissage (100a) de destination observée à partir de la prise de vue (F1) réalisée depuis l'aéronef (1) est bien la piste de destination cible sur laquelle un atterrissage de l'aéronef (1) est prévu, ou s'il existe une erreur de positionnement de l'aéronef (1) par rapport à la piste d'atterrissage de destination.

Fig. 3



FR 3 149 415 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : PROCÉDE AMELIORE D'ASSISTANCE A L'ATERRISSAGE D'UN AERONEF ET SYSTEME CONFIGURE POUR EXECUTER LE PROCÉDE.**

#### **Domaine technique**

[0001] La présente invention concerne un procédé d'assistance à l'atterrissage d'un aéronef sur une piste d'une installation aéroportuaire. L'invention concerne plus particulièrement un procédé de détermination de la position de l'aéronef au regard d'une ou plusieurs pistes d'une installation aéroportuaire, à partir d'une prise de vue opérée depuis l'aéronef, puis de vérification de la cohérence de la position déterminée. L'invention concerne en outre un système configuré pour exécuter le procédé précité d'assistance à l'atterrissage.

#### **ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE**

[0002] Les aéronefs actuels comprennent de nombreux dispositifs ou systèmes d'assistance au pilotage parmi lesquels figurent par exemple des systèmes d'aide à la réalisation d'une descente optimisée vers une installation aéroportuaire de destination ou encore des systèmes visant à éviter une confusion à l'arrivée à destination entre une piste d'atterrissage de destination et un taxiway parallèle à cette piste. En outre, certains aéroports ne sont pas pourvus de systèmes d'atterrissage aux instruments (par exemple un système *Instrument Landing System* ou ILS, en anglais) permettant un atterrissage automatique d'un aéronef.

[0003] De nombreuses installations aéroportuaires comprennent plusieurs pistes, parfois agencées parallèlement l'une à l'autre et un risque de confusion peut apparaître dans des conditions de visibilité dégradées, ou encore en l'absence de moyens de positionnement disponibles pour positionner de façon automatique un aéronef par rapport à une piste. Il existe alors un besoin de confirmer un bon positionnement d'un aéronef à l'arrivée, opérant une finale vers une piste de destination d'une installation aéroportuaire.

[0004] La situation peut être améliorée.

#### **Exposé de l'invention**

[0005] Un objet de la présente invention est de proposer un procédé d'assistance à l'atterrissage d'un aéronef permettant de confirmer un bon positionnement de l'aéronef par rapport à une piste d'atterrissage de destination d'une installation aéroportuaire, notamment lorsque cette dernière comprend une pluralité de pistes d'atterrissage, ainsi qu'un système automatisé d'assistance à l'atterrissage configuré pour exécuter un tel procédé.

- [0006] A cet effet, il est proposé un procédé d'assistance à l'atterrissage d'un aéronef sur une piste d'atterrissage prédéfinie d'une installation aéroportuaire de destination, le procédé comprenant une détermination d'une première position de l'aéronef par rapport à la piste d'atterrissage prédéfinie, à partir d'une prise de vue opérée depuis l'aéronef, de coordonnées de la piste d'atterrissage dans une base de données, et d'un premier algorithme de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste à partir de la prise de vue, le procédé étant tel qu'il comprend en outre :
- [0007] - une détermination d'une deuxième position de l'aéronef par rapport à la piste d'atterrissage de destination, à partir d'une prise de vue opérée depuis l'aéronef, des coordonnées de ladite piste d'atterrissage de destination dans la base de données, et d'un deuxième algorithme de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste à partir de ladite prise de vue, différent du premier algorithme de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à la piste à partir de ladite prise de vue, puis,
- [0008] - fournir une information représentative de la différence entre la première position déterminée et la deuxième position déterminée.
- [0009] Il est ainsi avantageusement possible de vérifier la cohérence de la piste observée depuis l'aéronef à l'arrivée à destination avec la piste d'atterrissage prévue telle qu'elle figure dans une base de données des pistes d'atterrissage, et ce, sans utiliser d'autre moyen de géolocalisation (tel qu'un système GPS, par exemple).
- [0010] Selon un mode de réalisation, l'installation aéroportuaire comprend une pluralité de pistes d'atterrissage et le procédé d'assistance à l'atterrissage d'un aéronef est conçu et adapté de sorte qu'il comprend, pour chacune des pistes d'atterrissage de l'installation aéroportuaire de destination, considérées successivement :
- [0011] - une détermination d'une première position de l'aéronef par rapport à la piste d'atterrissage considérée, à partir d'une prise de vue opérée depuis l'aéronef, de coordonnées de la piste d'atterrissage de toutes les pistes de l'aéroport dans une base de données, et du premier algorithme de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste à partir de la prise de vue,
- [0012] - une détermination d'une deuxième position de l'aéronef par rapport à la piste d'atterrissage de destination, à partir d'une prise de vue opérée depuis l'aéronef, des coordonnées de ladite piste d'atterrissage de destination dans la base de données, et du deuxième algorithme de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste à partir de ladite prise de vue, différent du premier algorithme de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste à partir de ladite prise de vue, puis,
- [0013] - enregistrer une information représentative de la différence entre la première position déterminée et la deuxième position déterminée, en association avec un

identifiant de la piste d'atterrissage considérée, puis,

[0014] comparer les deux informations enregistrées représentatives des deux plus petites différences de position entre la première position déterminée et la deuxième position déterminée parmi la liste des informations enregistrées représentatives des différences de position entre ladite première position et la deuxième position en association avec les pistes d'atterrissage, et, si la différence entre lesdites deux informations représentatives des deux plus petites différences de position excède une valeur seuil prédéterminée :

[0015] fournir, une information représentative de la différence entre la première position déterminée et la deuxième position déterminée pour la piste pour laquelle ladite différence est la plus petite parmi la liste des informations enregistrées représentatives des différences, en association avec un identifiant de ladite piste pour laquelle ladite différence est la plus petite,

[0016] et sinon :

[0017] fournir une information représentative de la différence entre la première position déterminée et la deuxième position déterminée pour la piste pour laquelle ladite différence est la plus petite parmi la liste des informations enregistrées représentatives des différences.

[0018] Selon un mode de réalisation, le procédé d'assistance à l'atterrissage d'un aéronef sur une piste d'une installation aéroportuaire de destination exécute des algorithmes de détermination d'une position de l'aéronef comprenant au moins :

[0019] - ledit premier algorithme qui est un algorithme de type dit « Perspective-n-Point » comprenant un procédé de détermination d'une translation entre une piste d'atterrissage et une position courante de l'aéronef ainsi qu'un procédé de détermination d'une rotation entre ladite piste d'atterrissage et ladite position courante de l'aéronef, et,

[0020] - ledit deuxième algorithme qui comprend un procédé de détermination d'une translation entre une piste d'atterrissage et une position courante de l'aéronef ainsi qu'une obtention d'une position de l'aéronef à partir d'informations fournies par une centrale à inertie dudit aéronef.

[0021] Un autre objet de l'invention est un dispositif d'assistance à l'atterrissage d'un aéronef sur une piste d'atterrissage prédéfinie d'une installation aéroportuaire de destination, le dispositif comprenant de la circuiterie électronique configurée pour opérer une détermination d'une première position de l'aéronef par rapport à la piste d'atterrissage prédéfinie, à partir d'une prise de vue opérée depuis l'aéronef, de coordonnées de ladite piste dans une base de données, et d'un premier algorithme de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste à partir de ladite prise de vue, le dispositif d'assistance comprenant en outre de la circuiterie électronique configurée pour opérer :

- [0022] - une détermination d'une deuxième position de l'aéronef par rapport à la piste d'atterrissage, à partir d'une prise de vue opérée depuis l'aéronef, des coordonnées de la piste d'atterrissage dans ladite base de données, et d'un deuxième algorithme de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste à partir de ladite prise de vue, différent du premier algorithme de reprojction, et pour,
- [0023] - fournir une information représentative de la différence entre la première position déterminée et la deuxième position déterminée.
- [0024] Selon un mode de réalisation, le dispositif d'assistance à l'atterrissage d'un aéronef comprend de la circuiterie électronique configurée pour, lorsque l'installation aéroportuaire comprend une pluralité de pistes d'atterrissage, opérer pour chacune des pistes d'atterrissage de l'installation aéroportuaire de destination, considérées successivement :
- [0025] - une détermination d'une première position de l'aéronef par rapport à la piste d'atterrissage considérée, à partir d'une prise de vue opérée depuis l'aéronef, de coordonnées de la piste d'atterrissage dans une base de données, et du premier algorithme de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste à partir de ladite prise de vue,
- [0026] - une détermination d'une deuxième position de l'aéronef par rapport à la piste d'atterrissage, à partir d'une prise de vue opérée depuis l'aéronef, des coordonnées de ladite piste dans la base de données, et du deuxième algorithme de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste à partir de ladite prise de vue différent du premier algorithme de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste à partir de ladite prise de vue, puis,
- [0027] - enregistrer une information représentative de la différence entre la première position et la deuxième position déterminées, en association avec un identifiant de la piste d'atterrissage considérée, puis pour
- [0028] comparer les deux informations enregistrées représentatives des deux plus petites différences de position entre ladite première position déterminée et la deuxième position déterminée parmi la liste des informations enregistrées représentatives des différences de position entre la première position déterminée et la deuxième position déterminée, en association avec les pistes d'atterrissage, et, si ladite différence entre les deux informations représentatives des deux plus petites différences de position excède une valeur seuil prédéterminée :
- [0029] fournir une information représentative de la différence entre la première position déterminée et la deuxième position déterminée pour la piste pour laquelle la différence est la plus petite parmi la liste des informations enregistrées représentatives des différences,
- [0030] et sinon :

- [0031] fournir une information représentative de la différence entre la première position déterminée et la deuxième position déterminée pour la piste pour laquelle la différence est la plus petite parmi la liste des informations enregistrées représentatives des différences.
- [0032] Selon un mode de réalisation, le dispositif d'assistance comprend en outre de la circuiterie électronique configurée pour :
- [0033] - exécuter un premier algorithme de type dit « Perspective-n-Point » comprenant un procédé de détermination d'une translation entre une piste d'atterrissage et une position courante de l'aéronef ainsi qu'un procédé de détermination d'une rotation entre ladite piste d'atterrissage et ladite position courante de l'aéronef, et,
- [0034] - exécuter un deuxième algorithme comprenant un procédé de détermination d'une translation entre une piste d'atterrissage et une position courante de l'aéronef ainsi qu'une obtention d'une position de l'aéronef à partir d'informations fournies par une centrale à inertie de l'aéronef.
- [0035] L'invention a également pour objet un aéronef comprenant un dispositif d'assistance à l'atterrissage tel que précédemment décrit.
- [0036] L'invention concerne enfin un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour exécuter les étapes d'un procédé d'assistance à l'atterrissage tel que précédemment décrit ainsi qu'un support de stockage comprenant un produit programme d'ordinateur tel que précité.

### **Brève description des dessins**

- [0037] Les caractéristiques de l'invention mentionnées ci-dessus, ainsi que d'autres, apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un exemple de réalisation, ladite description étant faite en relation avec les dessins joints :
- [0038] [Fig.1] illustre schématiquement et symboliquement un aéronef comprenant un système d'assistance à l'atterrissage selon un mode de réalisation se présentant face à une piste d'atterrissage de destination ;
- [0039] [Fig.2] illustre schématiquement une projection de la piste d'atterrissage de destination déjà représentée sur la [Fig.1] dans un plan image d'une caméra frontale d'un aéronef permettant de déterminer une position de l'aéronef par rapport à cette piste ;
- [0040] [Fig.3] illustre schématiquement un procédé d'assistance à l'atterrissage selon un mode de réalisation ;
- [0041] [Fig.4] illustre schématiquement et symboliquement un aéronef comprenant un système d'assistance à l'atterrissage selon un mode de réalisation, se présentant face à une installation aéroportuaire de destination comprenant une pluralité de pistes d'atterrissage ;
- [0042] [Fig.5] illustre schématiquement un procédé d'assistance à l'atterrissage selon un

autre mode de réalisation ; et,

[0043] [Fig.6] illustre schématiquement une architecture interne d'un dispositif d'assistance à l'atterrissage selon un mode de réalisation.

[0044] EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION

[0045] La [Fig.1] représente schématiquement et symboliquement un aéronef 1 comprenant un système d'assistance à l'atterrissage 10 configuré pour exécuter un procédé d'assistance à l'atterrissage selon un mode de réalisation de l'invention. Le système 10 est notamment configuré pour déterminer une position de l'aéronef 1 par rapport à une piste d'atterrissage 100a de destination sur laquelle un atterrissage de l'aéronef 1 est prévu de façon imminente. La piste d'atterrissage 100a de destination est une piste d'une installation aéroportuaire 100. La piste d'atterrissage 100a de l'installation aéroportuaire 100 est longiforme et s'étend le long d'un axe central 100a'. Avantageusement, la piste d'atterrissage 100a de destination est référencée dans une base de données RWYDB directement ou indirectement accessible par le système d'assistance à l'atterrissage 10 de l'aéronef 1. Selon un mode de réalisation, la base de données RWYDB est téléchargée dans le système d'assistance 10 de l'aéronef 1, par exemple, préalablement à un vol. Selon un mode de réalisation, la base de données RWYDB comprend, pour chacune des pistes d'installations aéroportuaires qui y sont recensées, des coordonnées de points caractéristiques de la piste (coins et milieux des seuils de pistes, par exemple) selon un format géodésique mondial WGS84 (de l'anglais « *World Geodesic System* »). Selon un mode de réalisation, le système d'assistance à l'atterrissage 10 est configuré pour communiquer avec un serveur distant, par exemple un serveur de base de données installé dans une station au sol, lequel comprend la base de données RWYDB de pistes d'installations aéroportuaires. Avantageusement l'aéronef 1 est équipé d'au moins une caméra frontale 10c (représentée sur la [Fig.2]), laquelle est configurée pour opérer des prises de vue d'un secteur dit « secteur avant », vers lequel l'avion se dirige lorsqu'il évolue en vol. Préférentiellement, la caméra frontale 10c est agencée dans le radôme de l'aéronef 1. Selon des variantes, la caméra frontale 10c est agencée sur n'importe quelle partie du fuselage de l'aéronef pour peu que sa position soit compatible avec une prise de vue du secteur avant, lequel secteur est en outre globalement visible depuis la cabine de pilotage de l'aéronef 1. La caméra frontale 10c opère comme un dispositif de capture d'image classique, c'est-à-dire qu'elle est configurée pour opérer des prises successives de vues et fournir des images F successives et représentatives chacune d'une vue de l'environnement face à l'aéronef 1, depuis l'aéronef 1, au moment de la prise de vue. Selon un mode de réalisation, la caméra frontale 10c est par exemple configurée pour opérer 30 prises de vue par seconde et pour fournir 30 images F par seconde au dispositif d'assistance à l'atterrissage 10. Avantageusement, la caméra 10c ou encore le système d'assistance à

l'atterrissage 10 comprend un module de détection de régions d'intérêt configuré pour détecter une ou plusieurs régions d'intérêt apparentes lors d'une prise de vue, à partir de l'une des images F correspondante. En d'autres termes, le module de détection de région d'intérêt est un module comprenant de la circuiterie électronique configurée pour détecter un ou plusieurs objets (régions d'intérêt) d'un type donné dans une image F obtenue depuis la caméra frontale 10c. Selon l'exemple décrit, le ou les objets détectés sont des pistes d'atterrissage. Selon un mode de réalisation, le module de détection d'objets comprend une implémentation logicielle ou matérielle d'un réseau de neurones artificiels profond ou de type DCNN (du sigle anglais "Deep Convolutional Neural Network"). Un tel module DCNN peut être constitué d'un ensemble de nombreux neurones artificiels, de type convolutif ou de type perceptron, et organisés par couches successives connectées entre elles. Un tel module DCNN s'inspire classiquement d'un modèle simpliste du fonctionnement d'un cerveau humain où de nombreux neurones biologiques sont connectés entre eux par des axones. Par exemple un module dit YOLOv4 (du sigle anglais « You Only Look Once version 4 ») est un module de type DCNN qui permet d'opérer une détection d'objets dans des images, et qui est dit "à une étape" (ou encore One-Stage), c'est à dire dont l'architecture est composée d'un module unique de propositions combinées de rectangles encadrant des objets (« bounding boxes ») et de classes d'objets dans l'image. En plus des neurones artificiels précédemment décrits, le module YOLOv4 utilise des fonctions connues de l'homme du métier comme par exemple la normalisation des lots (ou "batch normalization" en anglais), la régularisation par coupure de blocs de pixels (ou "dropblock regularization" en anglais), des connexions résiduelles pondérées entre couches (ou "weighted residual connections") ou encore une étape de suppression non-maximale (ou "non-maximal suppression" en anglais) qui élimine les propositions redondantes d'objets détectés. Selon un mode de réalisation, le module de détection d'objets a la possibilité de prédire une liste d'objets présents dans une ou plusieurs images d'un ou plusieurs contenus vidéos en fournissant, pour chaque objet, un rectangle encadrant l'objet sous forme de coordonnées de points définissant le rectangle dans l'image, le type ou classe de l'objet parmi une liste prédéfinie de classes définies lors d'une phase d'apprentissage, et un score de détection représentant un degré de confiance dans la détection ainsi opérée. Avantageusement, le module de détection d'objets opérant à partir d'une image F est configuré pour extraire des coordonnées de points caractéristiques de chacune des pistes d'atterrissage détectées dans une image F, en référence au plan d'image (ou repère d'image) de l'image F. Par exemple, le module de détection d'objets de l'aéronef 1 est capable de fournir des coordonnées des quatre coins d'une piste d'atterrissage détectée dans une image F, ainsi que de deux points définissant un axe central longitudinal de la piste concernée. Le plan image de la caméra frontale 10c

est défini ici comme un plan perpendiculaire à l'axe optique de la caméra frontale 10c et une image fournie par la caméra 10c comprend donc une projection de tous les éléments vus par la caméra dans ce plan image de référence.

- [0046] Astucieusement et avantageusement, il est alors possible, pour toute piste d'atterrissage dont des points caractéristiques sont référencés dans une base de données de géolocalisation de pistes d'atterrissage, d'utiliser les coordonnées présentes dans la base de données ou encore des coordonnées de points déterminés à partir des coordonnées présentes dans la base de données, ainsi que les coordonnées des mêmes points de la piste telle que détectée dans une image F obtenue à partir de la caméra frontale opérant une prise de vue pour fournir cette image F, pour définir une position POS1 de l'aéronef au moment de la prise de vue dont est issue l'image F, grâce à l'utilisation d'un algorithme de détermination d'une position du type « Perspective-n-Point » (de l'anglais) encore communément appelé algorithme « PnP ». Il s'agit d'un algorithme visant à déterminer la position relative selon six degrés de liberté d'une caméra (ou plus précisément de son centre optique), positionné sur son axe optique de vision, par rapport à un objet considéré dans l'espace, et vice-versa, à partir d'un ensemble de correspondances des points  $M_i$  référencés dans un référentiel spatial X, Y, Z et leurs projections respectives  $m_i$  dans un plan image obtenu à partir de la caméra. Ainsi, par exemple un algorithme de détermination d'une position d'un aéronef par rapport à un objet dans l'espace tel qu'une piste d'atterrissage peut déterminer une position de la caméra 10c à partir des coordonnées géodésiques des coins A, B, C, D de la piste 100a et des coordonnées dans l'image F (et donc dans le référentiel graphique de l'image F) des points a, b, c, d qui sont la représentation des points A, B, C et D dans l'image F fournie par la caméra frontale 10c.
- [0047] La [Fig.2] illustre une position relative de l'aéronef 1 en vol face à la piste d'atterrissage 100a de destination dont les quatre coins sont identifiés et référencés A, B, C, D. La [Fig.2] illustre en outre une image F telle que fournie par la caméra frontale 10c de l'aéronef 1 et dans laquelle apparaît une représentation de la piste 100a, détectée par le module de détection d'objets de l'aéronef 1 configuré pour détecter une ou plusieurs pistes d'atterrissage dans l'image F fournie par la caméra frontale 10c. L'image F comprend une représentation a, b, c, d dans le repère u, v de coordonnées des points de l'image F, des points caractéristiques A, B, C et D que sont les coins de la piste d'atterrissage 100a dans le monde réel. Selon un mode de réalisation, des coordonnées géodésiques  $x_A, y_A, z_A$  ;  $x_B, y_B, z_B$  ;  $x_C, y_C, z_C$  et  $x_D, y_D, z_D$  respectivement associées aux points A, B, C, D sont connues et enregistrées dans la base de données RWYDB des pistes d'atterrissage en référence à un référentiel spatial X, Y, Z.
- [0048] Selon un mode de réalisation, le système d'assistance à l'atterrissage 10 de l'aéronef 1 est configuré pour déterminer et détermine, pour au moins une image F, une première

position POS1 du centre optique 10f de la caméra 10c, et donc en conséquence de l'aéronef 1 par rapport à la piste d'atterrissage 100a grâce à un premier algorithme, du type algorithme PnP. L'algorithme PnP exécuté selon l'invention, encore appelé algorithme de détermination d'une position relative entre deux objets, et qui procède en opérant notamment ici une projection ou « reprojection » d'une piste de destination (ici la piste d'atterrissage 100a) dans un plan image de la caméra frontale 10c (ici, par exemple, le plan image de l'image F), n'est pas détaillé plus encore dans la présente description puisque les nombreuses opérations de calcul réalisées selon un tel algorithme sont connues et que sa description détaillée n'est pas utile à la compréhension de l'invention.

[0049] En outre, le système d'assistance à l'atterrissage 10 de l'aéronef 1 est configuré pour déterminer et détermine, pour au moins l'image F, une deuxième position POS2 du centre optique 10f de la caméra 10c, et donc en conséquence de l'aéronef 1 par rapport à la piste d'atterrissage 100a grâce à un deuxième algorithme, différent du premier algorithme et qui opère lui aussi une détermination d'une position de l'aéronef 1 par rapport à la piste de destination (ici encore, la piste d'atterrissage 100a), par exemple en prenant en compte l'attitude de l'aéronef 1 au moment de la détermination de cette deuxième position POS2. L'attitude de l'aéronef 1 désigne ici la position des axes de l'aéronef 1 en référence à un trièdre de référence, tel que, à titre d'exemple, le repère X, Y, Z représenté sur la [Fig.2]. Avantageusement et astucieusement, le système d'assistance à l'atterrissage 10 de l'aéronef 1 est configuré pour calculer une différence de position  $\Delta_{POS1, POS2}$  entre les deux positions POS1 et POS2 déterminées, puis pour fournir, une information représentative de cette différence de position  $\Delta_{POS1, POS2}$ . Par exemple, si la différence de position  $\Delta_{POS1, POS2}$  est inférieure à un seuil prédéterminé S1, cela signifie que les deux positions POS1 et POS2 sont cohérentes l'une au regard de l'autre et que la position de l'aéronef 1 est correcte par rapport à la piste d'atterrissage 100a de destination sur laquelle un atterrissage est prévu de façon imminente. Dans ce cas le système d'assistance à l'atterrissage fournit une information G selon laquelle la position de l'aéronef est satisfaisante en vue d'opérer un atterrissage sur la piste 100a de destination. Dans le cas inverse, c'est-à-dire si la différence  $\Delta_{POS1, POS2}$  entre les deux positions POS1 et POS2 déterminées excède le seuil S1, cela signifie qu'il existe une incohérence entre les positions POS1 et POS2 et le système d'aide à l'atterrissage fournit une information B selon laquelle une incohérence existe et doit être considérée pour la suite des opérations en vue d'un atterrissage.

[0050] Les informations G et B peuvent prendre des formes variées, par exemple un terme affiché sur un écran de contrôle, un pictogramme, un signal sonore ou haptique. Bien évidemment, les informations G et B revêtent des formes suffisamment différentes pour être aisément dissociables. Selon un exemple de réalisation, l'information G est

un voyant vert activé en référence à un identifiant de piste sur une carte d'approche et l'information B est un voyant rouge clignotant accompagné d'un signal sonore d'alerte, doublé d'un signal haptique.

- [0051] Selon un mode de réalisation, chacune des informations G et B peuvent initier des traitements subséquents tels que par exemple un processus d'assistance au vol en approche finale vers la piste de destination 100a, pour ce qui concerne l'information G, ou un processus d'interruption de la procédure d'atterrissage (remise des gaz) pour ce qui concerne l'information B.
- [0052] La [Fig.3] est un ordinogramme illustrant des étapes d'un procédé d'assistance à l'atterrissage de l'aéronef 1 exécuté par le système 10 d'assistance à l'atterrissage.
- [0053] Une étape S30 est une étape initiale au terme de laquelle le système d'assistance 10 est normalement opérationnel, la caméra frontale 10c opère des prises de vue successives et le module de détection d'objets de l'aéronef 1 identifie au moins une représentation d'une piste d'atterrissage dans une image F fournie par la caméra frontale 10c. En particulier, au terme de l'étape S0, le système d'assistance à l'atterrissage 10 dispose de représentations de points caractéristiques dans l'image F de points caractéristiques de la piste de destination 100a telle que référencée dans la base de données RWYDB de pistes d'atterrissages pour aéronefs.
- [0054] Une première position POS1 de l'aéronef 1 par rapport à la piste d'atterrissage de destination 100a est ensuite déterminée à l'étape S31, via l'exécution du premier algorithme de détermination d'une position de l'aéronef 1, de type PnP, puis une deuxième position POS2 de l'aéronef 1 par rapport à la piste d'atterrissage de destination 100a est ensuite déterminée à l'étape S32, via l'exécution du deuxième algorithme de détermination d'une position de l'aéronef 1, différent du premier algorithme de détermination d'une position de l'aéronef 1.
- [0055] Selon un mode de réalisation, le premier algorithme, de type PnP, comprend un procédé de détermination d'une translation T entre une piste d'atterrissage de destination et une position courante de l'aéronef 1 ainsi qu'un procédé de détermination d'une rotation R entre la piste d'atterrissage de destination et la position courante de l'aéronef 1, et le deuxième algorithme comprend un procédé de détermination d'une translation T entre une piste d'atterrissage et une position courante de l'aéronef 1 ainsi qu'une obtention d'une position plus précise de l'aéronef 1 à partir d'informations fournies par une centrale à inertie de l'aéronef (informations successives de mouvements de l'aéronef selon un axe de roulis, un axe de tangage et un axe de lacet, ainsi que des accélérations y afférentes). Une telle centrale à inertie, encore appelée communément centrale inertielle, ou INS (acronyme de l'anglais « *Inertial Navigation System* ») est un instrument utilisé en navigation, configuré pour mesurer les mouvements de l'aéronef et en particulier déterminer (ou estimer) des valeurs

d'accélération et de vitesse, aux fins d'estimer successivement son orientation dans l'espace (angles de roulis, de tangage et de cap par rapport à un référentiel spatial, encore appelée « attitude de l'aéronef »), ainsi que sa vitesse linéaire et sa position. L'estimation de position est relative au point de départ de l'aéronef ou à un point intermédiaire de recalage. Une telle centrale à inertie INS a la capacité de fournir des données de navigation aérienne telles que le cap, la route, la dérive, la vitesse, et la position. Astucieusement, le deuxième algorithme de détermination d'une position de l'aéronef 1 par rapport à la piste d'atterrissage de destination de l'aéronef 1 est donc suffisamment différent du premier algorithme de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à la piste d'atterrissage de destination de l'aéronef 1 pour détecter une incohérence de position déterminée de l'aéronef 1, par exemple, en cas de confusion liée à une dégradation des conditions de prise de vue à partir de la caméra 10c (selon les conditions météorologiques, par exemple), ou si une piste proche de la piste de destination est détectée mais que l'avion n'est pas correctement positionné face à la piste de destination sur laquelle un atterrissage imminent est prévu. Une différence de position  $\Delta_{\text{POS1, POS2}} = |\text{POS1} - \text{POS2}|$  est ensuite déterminée par le système d'assistance à l'atterrissage 10 à l'étape S33, puis est enregistrée dans une mémoire de l'aéronef 1 lors d'une étape S34. Une information représentative de la différence de position  $\Delta_{\text{POS1, POS2}} = |\text{POS1} - \text{POS2}|$  est dès lors fournie en vue d'un traitement subséquent. Il est à noter que les étapes S31, S32, S33 et S35 constituent une séquence ou étape S51 telle que décrite plus loin dans la description en relation avec la [Fig.5], dans un exemple de réalisation adapté au cas où l'installation aéroportuaire de destination comprend une pluralité de pistes d'atterrissage parmi lesquelles se trouve la piste d'atterrissage de destination.

[0056] La [Fig.4] illustre schématiquement l'existence d'une pluralité de pistes d'atterrissage 100a, 100b et 100c de l'installation aéroportuaire 100 qui comprend la piste d'atterrissage de destination 100a vers laquelle l'aéronef 1 évolue et sur laquelle il est prévu que l'aéronef 1 atterrisse.

[0057] La [Fig.5] est un ordinogramme illustrant un procédé d'assistance à l'atterrissage selon un mode de réalisation avantageux lorsque l'installation aéroportuaire 100 de destination comprend une pluralité de pistes d'atterrissage telles que, par exemple, les pistes 100a, 100b et 100c déjà décrites en rapport avec la [Fig.4]. Selon un mode de réalisation, le procédé d'assistance à l'atterrissage décrit ici opère le procédé précédemment décrit à la [Fig.3] pour chacune des pistes d'atterrissage 100a, 100b et 100c existantes dans l'aéroport et détectées par la caméra frontale 10c de l'aéronef 1 puis considère ensuite les deux pistes d'atterrissage pour lesquelles la différence de position déterminée par rapport à cette piste est la plus faible et opère ensuite un filtrage visant à éliminer une erreur de type « faux positif » avant que de ne fournir une

information finale.

[0058] Pour ce faire, une étape d'initialisation S50 constitue une étape initiale au terme de laquelle le système d'assistance 10 est normalement opérationnel, la caméra frontale 10c opère des prises de vue successives et le module de détection d'objets de l'aéronef 1 identifie une pluralité de représentations de pistes d'atterrissage dans une image F fournie par la caméra frontale 10c. En particulier, au terme de l'étape S50, le système d'assistance à l'atterrissage 10 dispose de représentations de points caractéristiques dans l'image F de points caractéristiques des pistes de destination 100a, 100b et 100c telle que référencée dans la base de données RWYDB de pistes d'atterrissage pour aéronefs.

[0059] Une étape S51 est ensuite réalisée autant de fois qu'il n'existe de pistes d'atterrissage détectées dans l'image F fournie par la caméra frontale 10c. L'étape S51 vise à enregistrer une information représentative d'une différence de position par rapport à la piste d'atterrissage considérée (parmi les pistes 100a, 100b et 100c détectées dans l'image F) obtenue en comparant deux positions de l'aéronef 1 par l'utilisation de deux algorithmes de détermination d'une position d'un aéronef par rapport à une piste d'atterrissage donnée et à partir d'une image fournie par la caméra frontale 10c. L'étape S51 est une séquence composée des étapes S31, S32, S33 et S34 précédemment décrites en relation avec la [Fig.3]. Après chaque itération de l'étape 51, il est vérifié lors d'une étape S52 si toutes les pistes d'atterrissage détectées dans l'image F ont été traitées par l'étape S51. Si c'est le cas, le procédé continue en séquence à une étape S53, et sinon, le procédé reboucle à l'étape S51 pour traiter l'une des pistes d'atterrissage détectées non encore traitée par l'étape S51. Ainsi, si n pistes d'atterrissage sont détectées dans l'image F, ou plus exactement trois représentations de pistes d'atterrissage sont détectées dans l'image F, le procédé exécute itérativement trois fois l'étape S51 et il est possible d'écrire que  $n = 3$  est le nombre de pistes d'atterrissage à traiter, et l'étape S51 est réalisée de façon itérative avec un indice de répétition  $i$  allant de 1 à  $n$ , de sorte à définir pour chacune des pistes d'atterrissage détectée, une première position déterminée POS1i en utilisant un premier algorithme de détermination d'une position d'un aéronef tel que « A2 » et une deuxième position déterminée POS2i en utilisant un deuxième algorithme de détermination d'une position d'un aéronef tel que « A2 » (Attitude), différent du premier algorithme de détermination d'une position d'un aéronef. Selon l'exemple décrit, lorsque les trois pistes d'atterrissage détectées dans l'image F ont été traitées, le système d'assistance à l'atterrissage 10 dispose donc de six positions déterminées, avec deux positions déterminées pour chacune des trois pistes d'atterrissage détectées dans l'image F :

[0060] PISTE POSITION selon « PnP » POSITION selon « A2 »

[0061] PISTE 100a POS11 (x11, y11, z11) POS21 (x21, y21, z21)

- [0062] PISTE 100b POS12 (x12, y12, z12) POS22 (x22, y22, z22)
- [0063] PISTE 100c POS13 (x13, y13, z13) POS23 (x23, y23, z23)
- [0064] Les différences de positions successivement déterminées lors des itérations de l'étape S51 sont :
- [0065] Rang i PISTE DIFFERENCE IPOS1 – POS2i
- [0066] 1 PISTE 100a  $\Delta 1_{\text{POS11, POS21}}$
- [0067] 2 PISTE 100b  $\Delta 2_{\text{POS12, POS22}}$
- [0068] 3 PISTE 100c  $\Delta 3_{\text{POS13, POS23}}$
- [0069] Il est ensuite déterminé à une étape S53, quelle est la piste pour laquelle la différence de position déterminée est la plus petite (la moindre) entre les positions POS1i et POS2i. Puis il est déterminé à une étape S54, quelle est la piste pour laquelle la différence de position déterminée est la deuxième plus petite entre les positions POS1i et POS2i.
- [0070] La piste pour laquelle la différence de position IPOS1i – POS2il est la plus petite est ici nommée  $\Delta_{\text{min1}_{\text{POS1i, POS2i}}}$ ,
- [0071] et la piste pour laquelle la différence de position IPOS1i – POS2il est la deuxième plus petite est nommée  $\Delta_{\text{min2}_{\text{POS1i, POS2i}}}$ .
- [0072] Selon un exemple de réalisation, la plus petite différence est :
- [0073]  $\Delta_{\text{min1}_{\text{POS1i, POS2i}}} = \Delta 2_{\text{POS12, POS22}}$ ,
- [0074] et la deuxième plus petite différence parmi  $\Delta 1_{\text{POS11, POS21}}$ ,  $\Delta 2_{\text{POS12, POS22}}$  et  $\Delta 3_{\text{POS13, POS23}}$  est :
- [0075]  $\Delta_{\text{min2}_{\text{POS1i, POS2i}}} = \Delta 1_{\text{POS11, POS21}}$ .
- [0076] Un filtrage est ensuite réalisé lors d'une étape S55 visant à détecter si les différences  $\Delta_{\text{min1}_{\text{POS1i, POS2i}}} = \Delta 2_{\text{POS12, POS22}}$  et  $\Delta_{\text{min2}_{\text{POS1i, POS2i}}} = \Delta 1_{\text{POS11, POS21}}$  sont suffisamment éloignées numériquement l'une de l'autre pour éviter tout risque de confusion entre les deux pistes pour lesquelles le niveau de cohérence de la position déterminée de l'aéronef 1 est le plus élevé. En d'autres termes, il est défini ici s'il est possible de discriminer sans risque d'erreur, la piste pour laquelle la différence entre les positions POS1 et POS2 est la moindre, par rapport aux autres pistes détectées et considérées successivement à l'étape S51.
- [0077] Dans la cas où la différence entre  $\Delta_{\text{min1}_{\text{POS1i, POS2i}}}$  et  $\Delta_{\text{min2}_{\text{POS1i, POS2i}}}$  est supérieure à une valeur seuil S2 prédéterminée, il y a une bonne discrimination et le système d'assistance à l'atterrissage 10 fournit à l'équipage de conduite de l'aéronef 1 et/ou à un système de l'aéronef 1 une information représentative de cette différence en association avec un identifiant de la piste considérée, visant à indiquer qu'il existe une bonne corrélation (ou cohérence) entre la position de l'aéronef 1 et la piste considérée, ce qui revient à dire que la piste considérée est celle se situant face à l'aéronef 1. Ainsi, s'il s'agit de la piste de destination, la fourniture de l'information représentative de

$\Delta_{\text{min}1_{\text{POS}1i, \text{POS}2i}}$  en association avec un identifiant de la piste, confirme un bon positionnement de l'aéronef 1 se dirigeant vers cette piste de destination. Selon un mode de réalisation, l'information représentative de la différence  $\Delta_{\text{min}1_{\text{POS}1i, \text{POS}2i}}$  est la différence  $\Delta_{\text{min}1_{\text{POS}1i, \text{POS}2i}}$  elle-même. Dans la cas où la différence entre  $\Delta_{\text{min}1_{\text{POS}1i, \text{POS}2i}}$  et  $\Delta_{\text{min}2_{\text{POS}1i, \text{POS}2i}}$  n'est pas supérieure à la valeur seuil S2 prédéterminée, le système d'assistance à l'atterrissage 10 fournit à l'équipage de conduite de l'aéronef 1 et/ou à un système de l'aéronef 1, lors d'une étape S57, une information selon laquelle il n'est pas possible de discriminer les deux pistes d'atterrissage pour lesquelles les différences respectives de position déterminées de l'aéronef 1 par rapport à la piste considérée sont les plus petites parmi toutes celles déterminées pour les pistes détectées. Selon un mode de réalisation, lorsqu'il n'est pas possible de discriminer les deux pistes d'atterrissage pour lesquelles les différences respectives de position déterminées de l'aéronef 1 par rapport à la piste considérée sont les plus petites, le système d'aide à l'atterrissage 10 ne fournit aucune information, ce qui revient alors à considérer que le système n'est pas en mesure de confirmer un bon positionnement de l'aéronef 1 par rapport à la piste de destination prévue.

- [0078] Selon une variante de réalisation, une information représentative de la différence de position entre les positions POS1i et POS2i est fournie par le système d'assistance à l'atterrissage pour chacune des pistes d'atterrissage détectées dans l'image F obtenue depuis la caméra frontale 10c. Par exemple, un indicateur associé à un identifiant de chacune des pistes détectées illustre un niveau de différence entre les positions respectivement déterminées via les deux algorithmes de reprojection de piste dans le plan image de l'image F. L'indicateur peut être un taux affiché, un bargraphe, une couleur d'un témoin lumineux, à titre d'exemples.
- [0079] La [Fig.6] est une représentation schématique d'un exemple d'architecture interne du système d'assistance à l'atterrissage 10, encore appelé ici dispositif d'assistance à l'atterrissage 10. Considérons à titre illustratif que la [Fig.6] illustre un agencement interne du système d'assistance à l'atterrissage 10 tel qu'embarqué dans l'aéronef 1. On note que la [Fig.6] pourrait aussi illustrer schématiquement un exemple d'architecture matérielle du système d'assistance à l'atterrissage 10 selon une configuration où le système d'assistance à l'atterrissage 10 est externe à l'aéronef 1 et communique avec ce dernier via un ou plusieurs liens de communication sans fil.
- [0080] Selon l'exemple d'architecture matérielle représenté à la [Fig.6], le système d'assistance à l'atterrissage 10 comprend alors, reliés par un bus de communication 19 : un processeur ou CPU (« Central Processing Unit » en anglais) 11 ; une mémoire vive RAM (« Random Access Memory » en anglais) 12 ; une mémoire morte ROM (« Read Only Memory » en anglais) 13 ; une unité de stockage telle qu'un disque dur (ou un lecteur de support de stockage, tel qu'un lecteur de cartes SD (« Secure Digital » en

anglais) 14 ; un module d'interfaces de communication 15 permettant au système d'assistance à l'atterrissage 10 de communiquer avec des dispositifs distants, tels que d'autres systèmes embarqués de l'aéronef 1 parmi lesquels figure la caméra frontale 10c, un serveur de base de données, ou encore tel que l'aéronef 1, le cas échéant.

- [0081] Le processeur 11 du système d'aide à l'atterrissage 10 est capable d'exécuter des instructions chargées dans la RAM 12 à partir de la ROM 13, d'une mémoire externe (non représentée), d'un support de stockage (tel qu'une carte SD), ou d'un réseau de communication. Lorsque le système d'assistance à l'atterrissage 10 est mis sous tension, le processeur 11 est capable de lire de la RAM 12 des instructions et de les exécuter. Ces instructions forment un programme d'ordinateur causant la mise en œuvre, par le processeur 11, de tout ou partie d'un procédé d'assistance à l'atterrissage décrit en relation avec la [Fig.3] ou de tout ou partie d'un procédé d'assistance à l'atterrissage décrit en relation avec la [Fig.5] ou de variantes décrites de ces procédés.
- [0082] Tout ou partie des procédés décrits en relation avec les [Fig.3] et [Fig.5] ou leurs variantes décrites peut être implémenté sous forme logicielle par exécution d'un ensemble d'instructions par une machine programmable, par exemple un DSP (« Digital Signal Processor » en anglais) ou un microcontrôleur, ou être implémenté sous forme matérielle par une machine ou un composant dédié, par exemple un FPGA (« Field-Programmable Gate Array » en anglais) ou un ASIC (« Application-Specific Integrated Circuit » en anglais). En général, le système d'assistance à l'atterrissage 10 comprend de la circuiterie électronique configurée pour mettre en œuvre les procédés décrits en relation avec lui-même. Bien évidemment, le système d'assistance à l'atterrissage 10 comprend en outre tous les éléments usuellement présents dans un système comprenant une unité de contrôle et ses périphériques, tels que, un circuit d'alimentation, un circuit de supervision d'alimentation, un ou plusieurs circuits d'horloge, un circuit de remise à zéro, des ports d'entrées-sorties, des entrées d'interruptions, des drivers de bus, cette liste étant non exhaustive.
- [0083] L'invention ne se limite pas aux seuls exemples et modes de réalisation décrits ci-avant mais concerne plus largement tout procédé d'assistance à l'atterrissage et tout système exécutant ce procédé opérant une comparaison de deux positions déterminées de l'aéronef par rapport à une piste de destination prédéfinie, à partir d'une prise de vue opérée depuis une caméra frontale de l'aéronef, d'informations extraites d'une base de données partagée de caractéristiques de pistes d'atterrissage et d'au moins deux algorithmes différents de reprojexion d'une piste de destination dans un plan d'image de ladite caméra frontale.

## Revendications

[Revendication 1] Procédé d'assistance à l'atterrissage d'un aéronef (1) sur une piste d'atterrissage (100a) prédéfinie d'une installation aéroportuaire (100) de destination, ledit procédé comprenant une détermination (S31) d'une première position (POS1) dudit aéronef (1) par rapport à ladite piste d'atterrissage (100a) prédéfinie, à partir d'une prise de vue (F) opérée depuis ledit aéronef (1), de coordonnées de ladite piste (100a) dans une base de données (RWYDB), et d'un premier algorithme (PnP) de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste (100a) à partir de ladite prise de vue (F), le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

- une détermination (S32) d'une deuxième position (POS2) dudit aéronef (1) par rapport à ladite piste d'atterrissage (100a), à partir de ladite prise de vue (F) opérée depuis l'aéronef (1), desdites coordonnées de ladite piste dans ladite base de données (RWYDB), et d'un deuxième algorithme (A2) de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste (100a) à partir de ladite prise de vue (F), différent dudit premier algorithme (PnP), puis,
- fournir (S33) une information représentative de la différence ( $\Delta_{POS1, POS2}$ ) entre la première position (POS1) déterminée et la deuxième position (POS2) déterminée.

[Revendication 2] Procédé d'assistance à l'atterrissage d'un aéronef selon la revendication 1, dans lequel l'installation aéroportuaire (100) comprend une pluralité de pistes d'atterrissage (100a, 100b, 100c), le procédé comprenant, pour chacune des pistes d'atterrissage (100a, 100b, 100c) de ladite installation aéroportuaire (100) de destination, considérées successivement :

- une détermination (S51, S31) d'une première position (POS1i) dudit aéronef (1) par rapport à i<sup>ème</sup> piste d'atterrissage considérée (100a, 100b, 100c), à partir d'une prise de vue (F) opérée depuis l'aéronef (1), de coordonnées de ladite i<sup>ème</sup> piste (100a, 100b, 100c) dans une base de données, et dudit premier algorithme (PnP),
- une détermination (S51, S32) d'une deuxième position

- (POS2i) dudit aéronef (1) par rapport à ladite  $i^{\text{ème}}$  piste d'atterrissage (100a, 100b, 100c), à partir d'une prise de vue (F) opérée depuis l'aéronef (1), desdites coordonnées de ladite  $i^{\text{ème}}$  piste (100a, 100b, 100c) dans ladite base de données, et dudit deuxième algorithme (A2), différent dudit premier algorithme (PnP), puis,
- enregistrer une information représentative de la différence ( $\Delta_{i_{\text{POS1i, POS2i}}}$ ) entre ladite première position (POS1i) et la deuxième position (POS2i) déterminées, en association avec un identifiant de ladite  $i^{\text{ème}}$  piste considérée (100a, 100b, 100c), puis

comparer les deux informations enregistrées représentatives des deux plus petites différences ( $\Delta_{\text{min1}_{\text{POS1, POS2}}}$ ,  $\Delta_{\text{min2}_{\text{POS1, POS2}}}$ ) de position entre ladite première position (POS1i) et la deuxième position (POS2i) parmi la liste des informations enregistrées représentatives des différences de position ( $\Delta_{i_{\text{POS1i, POS2i}}}$ ) entre ladite première position (POS1i) et la deuxième position (POS2i) en association avec lesdites pistes d'atterrissage (100a, 100b, 100c), et, si la différence entre lesdites deux informations représentatives des deux plus petites différences de position excède une valeur seuil prédéterminée :

fournir une information (G) représentative de la différence ( $\Delta_{\text{min1}_{\text{POS1i, POS2i}}}$ ) entre la première position (POS1i) déterminée et la deuxième position (POS2i) déterminée pour la piste (100a, 100b, 100c) pour laquelle ladite différence est la plus petite parmi la liste des informations enregistrées représentatives des différences de position ( $\Delta_{i_{\text{POS1i, POS2i}}}$ ), et sinon :

fournir une information (B) selon laquelle il n'est pas possible de discriminer les deux pistes d'atterrissages associées aux deux informations représentatives des deux plus petites différences de position ( $\Delta_{1_{\text{POS1, POS2}}}$ ,  $\Delta_{2_{\text{POS1, POS2}}}$ ).

[Revendication 3]

Procédé d'assistance à l'atterrissage d'un aéronef sur une piste d'une installation aéroportuaire de destination selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel :

- ledit premier algorithme (PnP) est un algorithme de type dit « Perspective-n-Point » comprenant un procédé de détermination d'une translation entre une piste d'atterrissage et une

position courante de l'aéronef ainsi qu'un procédé de détermination d'une rotation entre ladite piste d'atterrissage et ladite position courante de l'aéronef, et,

- ledit deuxième algorithme (A2) comprend un procédé de détermination d'une translation entre une piste d'atterrissage et une position courante de l'aéronef ainsi qu'une obtention de position de l'aéronef à partir d'informations fournies par une centrale à inertie dudit aéronef.

[Revendication 4] Dispositif d'assistance à l'atterrissage (10) d'un aéronef (1) sur une piste d'atterrissage (100a) prédéfinie d'une installation aéroportuaire (100) de destination, ledit dispositif (10) comprenant de la circuiterie électronique configurée pour opérer une détermination (S31) d'une première position (PO1) dudit aéronef par rapport à ladite piste d'atterrissage (100a) prédéfinie, à partir d'une prise de vue (F) opérée depuis l'aéronef (1), de coordonnées de ladite piste (100a) dans une base de données, et d'un premier algorithme (PnP) de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste (100a) à partir de ladite prise de vue (F), le dispositif d'assistance (10) étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre de la circuiterie électronique configurée pour opérer :

- une détermination (S32) d'une deuxième position (POS2) dudit aéronef (1) par rapport à ladite piste d'atterrissage (100a), à partir d'une prise de vue (F) opérée depuis l'aéronef (1), desdites coordonnées de ladite piste (100a) dans ladite base de données, et d'un deuxième algorithme (A2) de détermination d'une position de l'aéronef par rapport à ladite piste (100a) à partir de ladite prise de vue (F), différent dudit premier algorithme (PnP) de reprojection, et pour,
- fournir (S33) une information représentative de la différence entre la première position (POS1) déterminée et la deuxième position (POS2) déterminée.

[Revendication 5] Dispositif d'assistance à l'atterrissage (10) d'un aéronef (1) selon la revendication 4, comprenant de la circuiterie électronique configurée pour, lorsque l'installation aéroportuaire comprend une pluralité de pistes d'atterrissage, opérer pour chacune des pistes d'atterrissage de

ladite installation aéroportuaire de destination, considérées successivement :

- une détermination d'une première position dudit aéronef par rapport à la piste d'atterrissage considérée, à partir d'une prise de vue opérée depuis l'aéronef, de coordonnées de ladite piste dans une base de données, et dudit premier algorithme,
- une détermination d'une deuxième position dudit aéronef par rapport à ladite piste d'atterrissage, à partir d'une prise de vue opérée depuis l'aéronef, desdites coordonnées de ladite piste dans ladite base de données, et dudit deuxième algorithme différent dudit premier algorithme, puis,
- enregistrer une information représentative de la différence entre ladite première position et la deuxième position déterminées, en association avec un identifiant de ladite piste considérée, puis pour

comparer les deux informations enregistrées représentatives des deux plus petites différences de position entre ladite première position et la deuxième position parmi la liste des informations enregistrées représentatives des différences de position entre ladite première position et la deuxième position en association avec lesdites pistes d'atterrissage, et, si ladite différence entre lesdites deux informations représentatives des deux plus petites différences de position excède une valeur seuil prédéterminée :

fournir une information représentative de ladite différence entre la première position déterminée et la deuxième position déterminée pour la piste pour laquelle ladite différence est la plus petite parmi la liste des informations enregistrées représentatives des différences, en association avec un identifiant de ladite piste pour laquelle ladite différence est la plus petite,

et sinon :

fournir une information selon laquelle il n'est pas possible de discriminer les deux pistes d'atterrissage associées aux deux informations représentatives des deux plus petites différences de position.

[Revendication 6]

Dispositif d'assistance à l'atterrissage (10) selon l'une des revendications 4 et 5, comprenant en outre de la circuiterie électronique configurée pour :

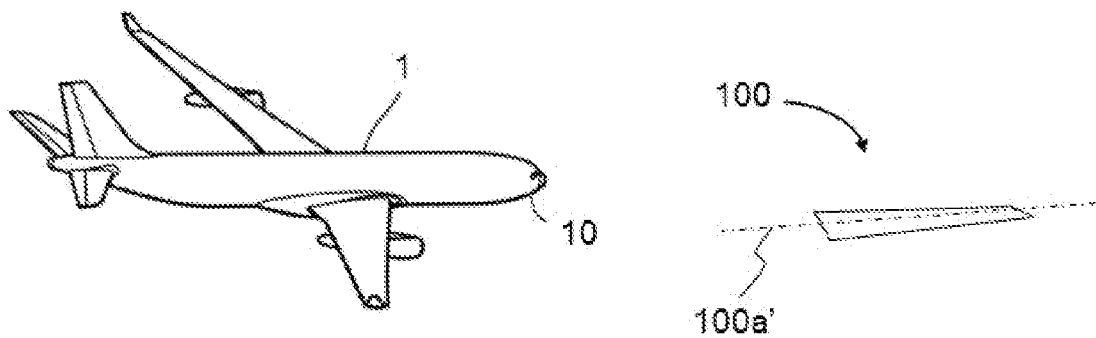
- exécuter un premier algorithme de type dit « Perspective-n-Point » comprenant un procédé de détermination d'une translation entre une piste d'atterrissage et une position courante de l'aéronef ainsi qu'un procédé de détermination d'une rotation entre ladite piste d'atterrissage et ladite position courante de l'aéronef, et,
- exécuter un deuxième algorithme comprenant un procédé de détermination d'une translation entre une piste d'atterrissage et une position courante de l'aéronef ainsi qu'une obtention d'une altitude de l'aéronef à ladite position courante de l'aéronef à partir d'informations fournies par une centrale à inertie dudit aéronef.

[Revendication 7] Aéronef (1) comprenant un dispositif d'assistance à l'atterrissage (10) selon l'une des revendications 4 à 6.

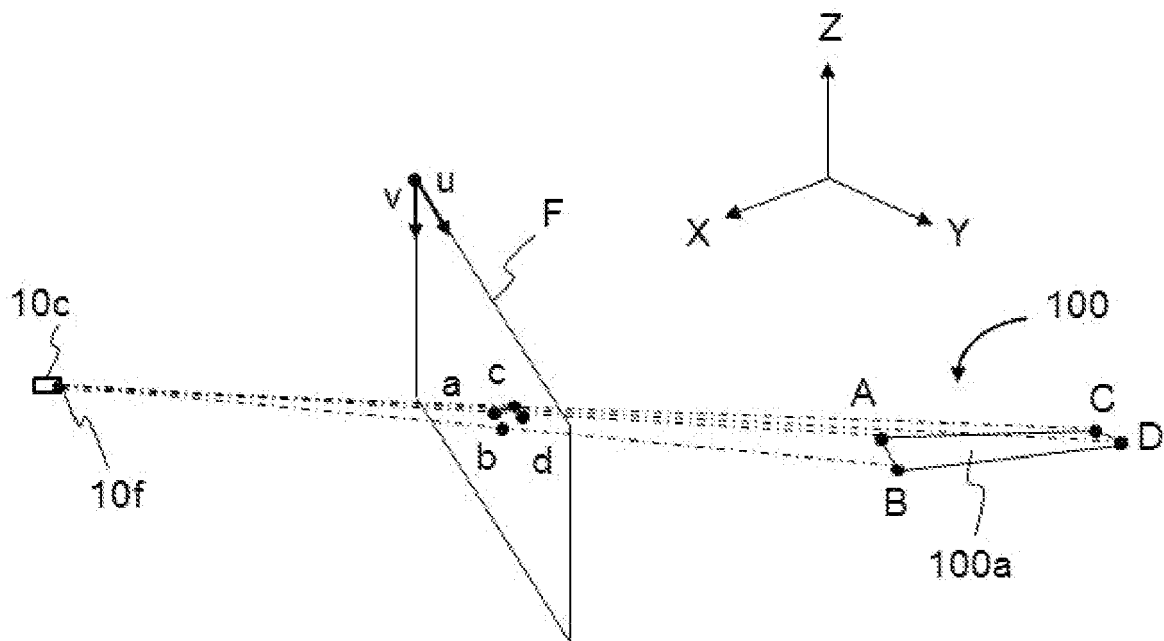
[Revendication 8] Produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour exécuter les étapes d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 3 lorsque lesdites instructions sont exécutées par un processeur d'un dispositif d'assistance à l'atterrissage d'un aéronef.

[Revendication 9] Support de stockage comprenant un produit programme d'ordinateur selon la revendication 8.

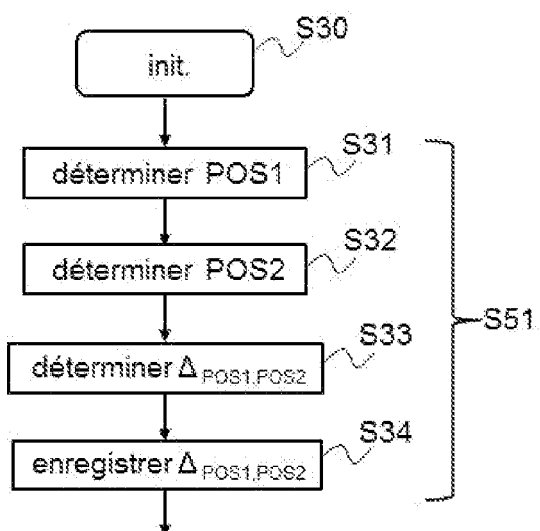
[Fig. 1]



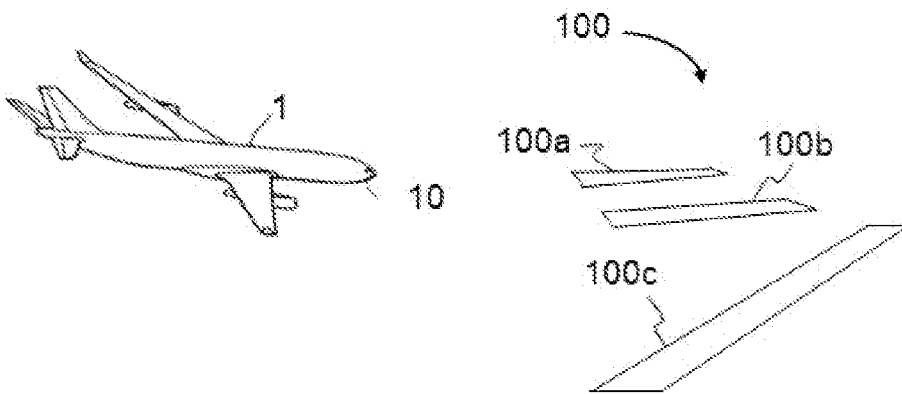
[Fig. 2]



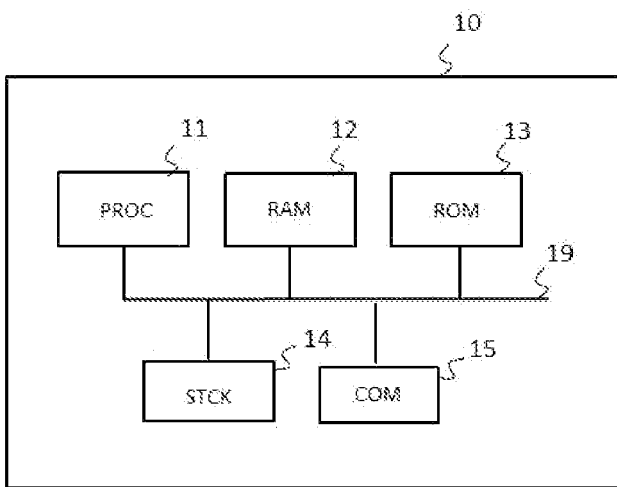
[Fig. 3]



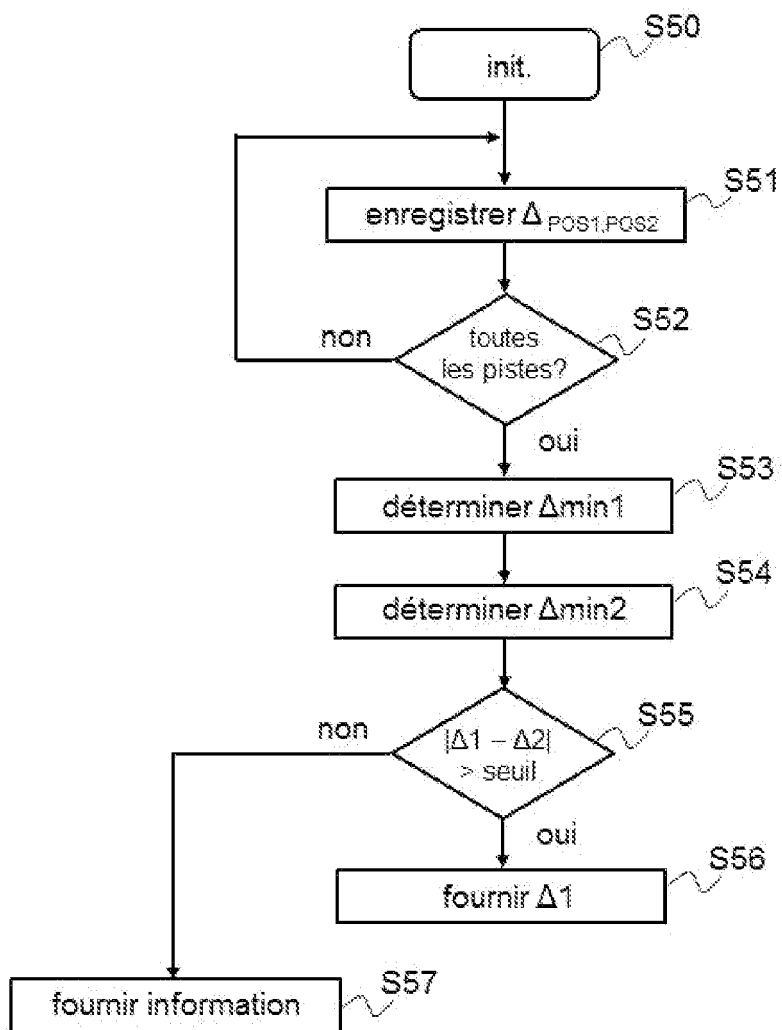
[Fig. 4]



[Fig. 6]



[Fig. 5]





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

**FA 919461**  
**FR 2305453**

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2022/198703 A1 (EVANS NICK S [US] ET AL) 23 juin 2022 (2022-06-23) * alinéa [0028] * -----	1-9	B64D 45/04 G05D 1/08 G06T 7/77 G06V 10/25
X	RUCHANURUCKS MITI ET AL: "Automatic Landing Assist System Using IMU+PnP for Robust Positioning of Fixed-Wing UAVs", JOURNAL OF INTELLIGENT, SPRINGER NETHERLANDS, DORDRECHT, vol. 90, no. 1, 20 septembre 2017 (2017-09-20), pages 189-199, XP036469412, ISSN: 0921-0296, DOI: 10.1007/S10846-017-0657-8 [extrait le 2017-09-20] * section 2 * -----	1-9	G08G 5/00 G08G 5/02
X	KONGKAEW SAKOL ET AL: "Automatically Landing an Unmanned Aerial Vehicle Using Perspective- n -Point Algorithm Based on Known Runway Image: Area Localization and Feature Enhancement With Time Consumption Reduction", NARA INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY DIVISION OF INFORMATION SCIENCE, , 8916-5 TAKAYAMA-CHO, IKOMA, NARA 630-0192 , JAPAN, vol. 1, 1 janvier 2022 (2022-01-01), XP093106069, DOI: 10.1115/1.4055081 Extrait de l'Internet: URL:https://asmedigitalcollection.asme.org/openengineering/article-pdf/doi/10.1115/1.4055081/6908981/aoje_1_011030.pdf * section 2 * -----	1-9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  G08G G01S G05D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
8 décembre 2023		Gagin, Thibaut	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2305453 FA 919461**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **08-12-2023**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
<b>US 2022198703 A1</b>	<b>23-06-2022</b>	<b>AUCUN</b>	

---