

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 135 810**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **22 04789**

⑤① Int Cl⁸ : **G 06 T 3/00** (2022.01), G 06 T 11/00, G 08 G 5/00,
G 01 C 9/00

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé de génération d'une image périphérique d'un aéronef, dispositif électronique de génération et produit programme d'ordinateur associés.

②② Date de dépôt : 19.05.22.

③⑦ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 24.11.23 Bulletin 23/47.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 11.10.24 Bulletin 24/41.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *THALES Société anonyme* — FR.

⑦② Inventeur(s) : PABIA Guillaume, CAPELLE Bruno,
MARIANI Pierre, COUDER Nicolas, KARKI Ali et
ROUZES Siegfried.

⑦③ Titulaire(s) : *THALES Société anonyme*.

⑦④ Mandataire(s) : *Lavoix*.

FR 3 135 810 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé de génération d'une image périphérique d'un aéronef, dispositif électronique de génération et produit programme d'ordinateur associés

- [0001] La présente invention concerne un procédé de génération d'une image périphérique d'un aéronef.
- [0002] La présente invention concerne également un dispositif électronique de génération d'une image périphérique d'un aéronef, et un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, mettent en œuvre un tel procédé.
- [0003] La présente invention concerne le domaine de l'assistance au pilotage d'un aéronef.
- [0004] Lors du pilotage d'un aéronef, la visibilité du pilote est limitée à son champ de vision. Or, la vision du pilote ne suffit pas à l'informer de la présence d'éléments périphériques de l'aéronef. Par exemple, lorsque le pilote est embarqué dans l'aéronef, il ne peut voir, par lui-même, des éléments situés derrière ou sous l'aéronef.
- [0005] Dans le domaine de l'assistance au pilotage, il est connu de compléter le champ de vision du pilote par des systèmes d'assistance au pilotage qui permettent de rendre compte, au moins partiellement, de l'environnement dans lequel évolue l'aéronef. Pour cela on connaît notamment des caméras, des capteurs RADAR et des capteurs LIDAR. Ces systèmes sont complémentaires et fournissent différentes informations nécessaires au pilote.
- [0006] On connaît du document WO 2011/039666 A1, un procédé d'assistance au pilote lors d'un décollage ou d'un atterrissage de l'aéronef. Ce procédé comprend l'acquisition d'images depuis des caméras, ainsi que d'informations issues d'autres capteurs de l'aéronef, tels que des capteurs RADAR ou LIDAR. Ces informations sont acquises lors de l'approche par l'aéronef de son lieu d'atterrissage ou lors de son décollage.
- [0007] Puis, à partir des images acquises lors de cette approche, respectivement de ce décollage, le procédé comprend la construction d'un modèle 3D de la zone d'atterrissage, respectivement zone de décollage. Au fur et à mesure de l'approche, ou du décollage, le modèle 3D est précisé par de nouvelles images acquises et de nouvelles informations issues des capteurs. Enfin, une image périphérique issue du modèle 3D est transmise au pilote pour l'aider à effectuer l'atterrissage, respectivement pour l'aider à effectuer le décollage.
- [0008] Toutefois, ce procédé requiert l'usage de nombreux capteurs et notamment des capteurs RADAR et LIDAR, afin de déterminer la localisation de différents objets dans l'environnement de la zone d'atterrissage pour la construction du modèle 3D. Or,

la combinaison de tous ces capteurs est onéreuse, discriminant leur installation sur la totalité des aéronefs.

- [0009] En outre, la génération d'un modèle 3D requiert un temps de calcul long qui nécessite l'usage d'images acquises antérieurement à l'instant auquel le modèle 3D est calculé.
- [0010] Il existe donc un besoin de proposer une solution plus simple qui permette de générer plus rapidement une image périphérique de l'aéronef.
- [0011] A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de génération d'une image périphérique d'un aéronef, l'image périphérique comportant une pluralité de pixels obtenus à partir d'une pluralité de caméras équipant l'aéronef, le procédé étant mis en œuvre par un dispositif électronique de génération et comprenant les étapes suivantes :
- [0012] - réception d'une position d'un point de vue périphérique correspondant au point de vue à partir duquel l'image périphérique est à générer,
- [0013] - obtention d'une orientation de l'aéronef,
- [0014] - acquisition d'une image respective depuis chaque caméra,
- [0015] - calcul d'une fonction de transfert respective pour chaque caméra, chaque fonction de transfert étant destinée à être appliquée à un pixel de l'image périphérique pour identifier un éventuel pixel correspondant de l'image acquise associée à la fonction de transfert, et
- [0016] - génération de l'image périphérique à partir des images acquises depuis chaque caméra et de chaque fonction de transfert calculée.
- [0017] Avec le calcul des fonctions de transfert associées à chaque caméra, le procédé permet de générer l'image périphérique sans recourir à un modèle 3D complexe à calculer, puisque ces fonctions associent directement un pixel de l'image périphérique à générer, à un pixel de l'image acquise correspondante. Ainsi, le temps nécessaire à la génération de l'image périphérique est sensiblement réduit.
- [0018] Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le procédé de génération comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :
- [0019] - l'orientation de l'aéronef obtenue comprend au moins un angle d'orientation parmi un angle de roulis de l'aéronef, un angle de gisement de l'aéronef et un angle de site de l'aéronef ;
- [0020] - chaque fonction de transfert est configurée pour déterminer, lorsqu'elle est appliquée à un pixel de l'image périphérique :
- [0021] - une position d'un pixel associé dans l'image acquise si le pixel de l'image périphérique correspond à un pixel de l'image acquise, ou bien
- [0022] - un résultat incorrect sinon ;
- [0023] - lors de l'étape de génération, le contenu de chaque pixel de l'image périphérique est

déterminé via l'application audit pixel de la fonction de transfert respective et via l'application d'une règle de mixage des images acquises ;

[0024] - la règle de mixage est :

[0025] - si l'application de chaque fonction de transfert au pixel de l'image périphérique fournit la position d'un pixel dans une seule image acquise, alors le contenu dudit pixel de l'image périphérique est égal au contenu du pixel de la seule image acquise correspondante ;

[0026] - si l'application de chaque fonction de transfert au pixel de l'image périphérique fournit des pixels pour plusieurs images acquises, alors le contenu du pixel de l'image périphérique est égal au contenu du pixel d'image acquise qui est le plus central dans son image acquise respective, et

[0027] - sinon, le pixel de l'image périphérique est égal à une couleur prédéfinie.

[0028] - le procédé comprend en outre une étape d'envoi de l'image périphérique, à un dispositif d'affichage en vue de son affichage à destination d'un pilote de l'aéronef ;

[0029] - le procédé comprend en outre une étape d'ajout d'un symbole représentant l'aéronef dans l'image périphérique générée, l'étape d'ajout comprenant :

[0030] - détermination d'une taille et d'une position du symbole représentant l'aéronef, en fonction de la position du point de vue périphérique ;

[0031] - inclusion dans l'image périphérique, du symbole représentant l'aéronef ;

[0032] - les étapes d'obtention, d'acquisition, de calcul et de génération sont réitérées plusieurs fois, la pluralité d'images périphériques générées formant un flux vidéo ;

[0033] - chaque fonction de transfert vérifie :

$$[0034] \quad u_c = \frac{a_u + b_u u_v + c_u v_v}{a' + b' u_v + c' v_v}$$

$$[0035] \quad v_c = \frac{a_v + b_v u_v + c_v v_v}{a' + b' u_v + c' v_v}$$

[0036] où u_c est la position en abscisse du pixel de l'image acquise par la caméra,

[0037] v_c est la position en ordonnée du pixel de l'image acquise par la caméra,

[0038] u_v est la position en abscisse du pixel de l'image périphérique,

[0039] v_v est la position en ordonnée du pixel de l'image périphérique,

[0040] $a', b', c', a_u, b_u, c_u, a_v, b_v, c_v$ sont des premier à neuvième coefficients propres à chaque caméra.

[0041] - l'étape de calcul comprend la détermination des premier à neuvième coefficients en utilisant que, pour tout point cible apparaissant sur l'image acquise et sur l'image périphérique, le vecteur reliant une origine du repère associé à la caméra et ce point cible, passe par le point de coordonnées :

$$[0042] \quad \begin{pmatrix} f_c \\ u_c \\ v_c \end{pmatrix}$$

- [0043] dans le repère associé à la caméra
- [0044] où :
- [0045] - f_c est la focale de la caméra ,
- [0046] - les positions en abscisse et ordonnée du pixel dépendent d'une matrice de rotation entre le repère associé à la caméra et le repère de référence, la matrice de rotation dépendant de l'orientation obtenue de l'aéronef ;
- [0047] - le repère associé à la caméra comprend un premier axe de caméra, un deuxième axe de caméra et un troisième axe de caméra, perpendiculaires entre eux,
- [0048] l'étape de calcul de chaque fonction de transfert comprenant, pour chaque caméra, les sous-étapes suivantes :
- [0049] - calcul de la matrice de rotation entre le repère associé à la caméra et le repère de référence, à partir de l'orientation de l'aéronef,
- [0050] - calcul pour tout point:
- [0051] + d'une première grandeur représentative d'une contribution, selon le premier axe de caméra, du vecteur reliant l'origine du repère associé à la caméra et le point cible,
- [0052] + d'une deuxième grandeur représentative d'une contribution, selon le deuxième axe de caméra, du vecteur reliant l'origine du repère associé à la caméra et le point cible, et
- [0053] + d'une troisième grandeur représentative d'une contribution, selon le troisième axe de caméra, du vecteur reliant le point cible à l'origine du repère associé à la caméra ;
- [0054] chacune des première, deuxième, et troisième grandeurs dépendant de la matrice de rotation calculée,
- [0055] - détermination des premier, deuxième et troisième coefficients à partir de la première grandeur, des quatrième, cinquième et sixième coefficients à partir de la deuxième grandeur, et des septième, huitième et neuvième coefficients à partir de troisième grandeur.
- [0056] L'invention a également pour objet un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, mettent en œuvre un tel procédé de génération..
- [0057] L'invention a également pour objet un dispositif électronique de génération d'une image périphérique d'un aéronef, l'image périphérique comportant une pluralité de pixels obtenus à partir d'une pluralité de caméras équipant l'aéronef, le dispositif électronique de génération comprenant :
- [0058] - un module de réception configuré pour recevoir une position d'un point de vue périphérique correspondant au point de vue à partir duquel l'image périphérique est à générer,
- [0059] - un module d'obtention configuré pour obtenir une orientation de l'aéronef,
- [0060] - un module d'acquisition configuré pour acquérir une image respective depuis chaque caméra,

- [0061] - un module de calcul configuré pour calculer une fonction de transfert respective pour chaque caméra, chaque fonction de transfert étant destinée à être appliquée à un pixel de l'image périphérique pour identifier un éventuel pixel correspondant dans l'image acquise associée à la fonction de transfert, et
- [0062] - un module de génération configuré pour générer l'image périphérique à partir des images acquises depuis chaque caméra et de chaque fonction de transfert calculée..
- [0063] Ces caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :
- [0064] [Fig.1] la [Fig.1] est une vue schématique d'un aéronef comprenant un dispositif de génération selon l'invention ;
- [0065] [Fig.2] la [Fig.2] est une vue schématique expliquant une étape de calcul d'une fonction de transfert respective pour chaque caméra, d'un procédé de génération mis en œuvre par le dispositif électronique de génération de la [Fig.1] ;
- [0066] [Fig.3] la [Fig.3] est un exemple d'image périphérique générée par le dispositif électronique de génération de la [Fig.1], à partir d'images acquises depuis une pluralité de caméras embarquées dans l'aéronef de la [Fig.1] ; et
- [0067] [Fig.4] la [Fig.4] est un organigramme d'un procédé de génération d'une image périphérique d'un aéronef, mis en œuvre par le dispositif électronique de génération de la [Fig.1].
- [0068] En référence à la [Fig.1], on décrit un aéronef 10. L'aéronef 10 est par exemple un aéronef à voilure tournante, tel qu'un hélicoptère ou un drone, tel qu'un drone multi-pales. En variante, l'aéronef 10 est un avion.
- [0069] L'aéronef 10 comprend un gyroscope 15, un altimètre 20, une pluralité de caméras 25, un dispositif d'affichage 30, et un dispositif électronique 35 de génération d'une image périphérique de l'aéronef 10.
- [0070] L'aéronef 10 est propre à se déplacer au-dessus d'un sol 36 auquel un repère de référence R_{REF} est associé. Le repère de référence R_{REF} comprend un premier axe de référence \vec{i}_{REF} , un deuxième axe de référence \vec{j}_{REF} et un troisième axe de référence \vec{k}_{REF} , perpendiculaires entre eux.
- [0071] Le gyroscope 15 est configuré pour mesurer une orientation de l'aéronef 10. Par exemple, le gyroscope 15 est configuré pour mesurer un angle de roulis, un angle de tangage et un angle de lacet de l'aéronef 10. Ces angles de roulis, de tangage et de lacet sont mesurés par rapport à un repère fixe de l'aéronef 10, non représenté. En complément facultatif, le gyroscope 15 est configuré pour convertir les angles de tangage et de lacet mesurés, en un angle de gisement de l'aéronef 10 et un angle de site de l'aéronef 10 par rapport au repère de référence R_{REF} .

- [0072] Un repère respectif R_{AV} est également associé à l'aéronef 10.
- [0073] L'altimètre 20 est par exemple un altimètre laser propre à mesurer l'altitude de l'aéronef 10 par rapport au sol 36. A titre d'exemple, l'altimètre 20 est configuré pour mesurer l'altitude ALT d'un centre O_{AV} de l'aéronef 10 par rapport au sol 36. Le centre O_{AV} forme typiquement l'origine du repère R_{AV} .
- [0074] Le centre O_{AV} de l'aéronef 10 est par exemple un centre de gravité de l'aéronef 10.
- [0075] Chaque caméra 25 est fixée sur l'aéronef 10 et orientée vers l'extérieur de l'aéronef 10. Un repère respectif R_C est associé à chaque caméra 25. Une origine O_C du repère R_C associé à une caméra 25 respective est par exemple le centre de ladite caméra 25. Chaque repère R_C comprend un premier axe de caméra \vec{i}_c , un deuxième axe de caméra \vec{j}_c et un troisième axe de caméra \vec{k}_c , perpendiculaires entre eux.
- [0076] Les caméras 25 sont de préférence orientées selon des directions distinctes les unes des autres. Les différentes directions d'orientation des caméras 25 permettent de couvrir un champ global de vision plus étendu.
- [0077] La distance entre le centre O_C de chaque caméra 25 et le centre O_{AV} de l'aéronef 10, est prédéfinie. De même, l'orientation du repère R_C associé à chaque caméra 25 par rapport au repère R_{AV} associé à l'aéronef 10 est également prédéfinie. Ainsi, pour chaque caméra 25, une matrice de rotation respectivement \hat{R}_i entre le repère R_C associé à la caméra 25 et le repère R_{AV} associé à l'aéronef 10, est connue et prédéfinie.
- [0078] Chaque caméra 25 définit un champ de vision (de l'anglais *Field Of View*) FOV_C respectif, par exemple sensiblement égal à 120 degrés. En outre, chaque caméra 25 comprend une distance focale f_c selon le premier axe de caméra \vec{i}_c respectif et prédéfinie. La distance focale f_c est appelée par la suite focale f_c .
- [0079] Chaque caméra 25 est configurée pour capturer, à une fréquence prédéterminée, des images de l'environnement dans lequel l'aéronef 10 évolue. La fréquence prédéterminée est par exemple égale 20 Hz.
- [0080] En variante, la fréquence prédéterminée est supérieure à 50 Hz, et préférentiellement égale à 100 Hz. Autrement dit, pour chaque caméra 25, une image est par exemple capturée par la caméra 25 toutes les 0,02 secondes, et préférentiellement toutes les 0,01 secondes.
- [0081] Le dispositif d'affichage 30 comprend par exemple un écran d'affichage 40 et une interface homme-machine 45.
- [0082] Le dispositif d'affichage 30 est destiné à être localisé proche du pilote de l'aéronef 10. Ainsi, lorsque le pilote est à bord de l'aéronef 10, le dispositif d'affichage 30 est embarqué.
- [0083] Au contraire, lorsque le pilote de l'aéronef 10 est éloigné de l'aéronef 10, comme par exemple dans le cas d'un drone, le dispositif d'affichage 30 est également déporté de

- l'aéronef 10. Le dispositif d'affichage 30 est connecté au dispositif de génération 35.
- [0084] Comme il sera décrit ci-après, l'écran d'affichage 40 est configuré pour recevoir, depuis le dispositif de génération 35, l'image périphérique. L'écran d'affichage 40 est en outre configuré pour afficher l'image périphérique. L'affichage de l'image périphérique est alors destiné au pilote de l'aéronef 10.
- [0085] Chacune de l'image périphérique et des images acquises comprend une pluralité de pixels formant un pavage de l'image correspondante. Chaque pixel comprend un contenu définissant la couleur dudit pixel.
- [0086] Selon un premier exemple, chacune de l'image périphérique ou des images acquises est en couleurs. Le contenu de chaque pixel est typiquement un triplé de valeurs RGB, tel que des valeurs respectivement comprises entre 0 et 255 si chacune desdites valeurs est encodée sur 8 bits. La première valeur du triplé RGB correspond à un niveau de rouge. La deuxième valeur du triplé RGB correspond à un niveau de vert. La troisième valeur du triplé RGB correspond à un niveau de bleu. A titre d'exemple, si chaque valeur du triplé RGB est égale à 0, alors le pixel associé est noir, et si chaque valeur du triplé RGB est égale à 255, alors le pixel associé est blanc.
- [0087] Selon le premier exemple, chaque valeur du triplé de valeurs RGB est en variante encodée sur 16, 32 ou 64 bits d'encodage. Chaque valeur respective n'est alors pas comprise entre 0 et 255, mais entre 0 et une borne supérieure à 255.
- [0088] Selon un deuxième exemple, chacune de l'image périphérique et des images acquises est une image en noir et blanc, également appelée image en niveau de gris. Le contenu de chaque pixel est alors une unique valeur, par exemple comprise entre 0 et 100, ou encore entre 0 et 255, dans lequel la valeur maximale correspond typiquement à un pixel blanc et la valeur minimale correspond typiquement à un pixel noir.
- [0089] L'interface homme-machine 45 est configurée pour recevoir, depuis le pilote, des instructions relatives à une position d'un point de vue périphérique O_v correspondant à un point de vue à partir duquel l'image périphérique est générée par le dispositif de génération 35.
- [0090] En complément facultatif, l'interface homme-machine 45 est configuré pour recevoir, depuis le pilote, une focale périphérique f_v associée au point de vue périphérique O_v .
- [0091] Préférentiellement, l'interface homme-machine 45 est configurée pour recevoir en outre une instruction d'un premier type ou d'un deuxième type.
- [0092] Une instruction du premier type est une instruction de suivi de l'aéronef 10 dans lequel le point de vue périphérique O_v est localisé au-dessus de l'aéronef 10 à une distance prédéfinie de l'aéronef 10. Le point de vue périphérique O_v suit alors l'aéronef 10. Le premier type d'instruction est également appelé « vue environnante » (de l'anglais *surround view*). L'interface homme-machine 45 est configurée alors pour recevoir la position du point de vue périphérique O_v sous forme d'une distance entre

l'aéronef 10 et le point de vue périphérique O_v , par exemple selon le troisième axe de référence $\overline{k_{REF}}$.

- [0093] Une instruction du deuxième type est une instruction de surveillance de zone, dans laquelle le point de vue périphérique O_v est fixe par rapport au repère de référence R_{REF} et localisé au-dessus de l'aéronef 10. Selon le deuxième type d'instruction, l'aéronef 10 est mobile par rapport au point de vue périphérique O_v . L'interface homme-machine 45 est configurée alors pour recevoir la position du point de vue périphérique O_v sous la forme d'un triplé comprenant une altitude H du point de vue périphérique O_v par rapport au sol 36, une longitude et une latitude du point de vue périphérique O_v .
- [0094] L'interface homme-machine 45 est configurée pour transmettre, au dispositif de génération 35, les instructions reçues depuis le pilote, et la position du point de vue périphérique O_v .
- [0095] Le dispositif électronique 35 de génération de l'image périphérique de l'aéronef 10 comprend un module de réception 50, un module d'obtention 55, un module d'acquisition 60, un module de calcul 65, un module de génération 70, et optionnellement un module d'ajout 75 et un module d'envoi 80.
- [0096] Dans l'exemple de réalisation de la [Fig.1], le module de réception 50, le module d'obtention 55, le module d'acquisition 60, le module de calcul 65, le module de génération 70, et optionnellement le module d'ajout 75 et le module d'envoi 80 sont réalisés chacun sous forme d'un logiciel, ou d'une brique logicielle, exécutables par un processeur 85. Une mémoire 90 du dispositif de génération 35 est alors apte à stocker un logiciel de réception, un logiciel d'obtention, un logiciel d'acquisition, un logiciel de calcul, un logiciel de génération, et optionnellement un logiciel d'ajout et un logiciel d'envoi.
- [0097] En variante non représentée, le module de réception 50, le module d'obtention 55, le module d'acquisition 60, le module de calcul 65, le module de génération 70, et optionnellement le module d'ajout 75 et le module d'envoi 80, sont réalisés chacun sous la forme d'un composant logique programmable, tel qu'un FPGA (de l'anglais, *Field Programmable Gate Array*) ou encore d'un circuit intégré, tel qu'un ASIC (de l'anglais, *Application Specific Integrated Circuit*).
- [0098] Lorsque le dispositif de génération 35 est réalisé sous la forme d'un ou plusieurs logiciels, c'est-à-dire sous forme d'un programme d'ordinateur, il est en outre apte à être enregistré sur un support, non représenté, lisible par ordinateur. Le support lisible par ordinateur est par exemple, un médium apte à mémoriser les instructions électroniques et à être couplé à un bus d'un système informatique. A titre d'exemple, le support lisible est un disque optique, un disque magnéto-optique, une mémoire ROM, une mémoire RAM, tout type de mémoire non volatile (par exemple EPROM,

EEPROM, FLASH, NVRAM), une carte magnétique ou une carte optique. Sur le support lisible est alors mémorisé un programme d'ordinateur comprenant des instructions logicielles.

- [0099] Le module de réception 50 est configuré pour recevoir, par exemple depuis l'interface homme-machine 45, la position du point de vue périphérique O_V correspondant au point de vue à partir duquel l'image périphérique est à générer.
- [0100] Par exemple, le module de réception 50 est configuré pour recevoir, depuis l'interface homme-machine 45, l'instruction du premier type. Alors, le module de réception 50 est configuré pour recevoir depuis l'interface homme-machine 45, la distance du point de vue périphérique O_V par rapport au centre O_{AV} de l'aéronef 10.
- [0101] Par exemple, le module de réception 50 est configuré pour recevoir, depuis l'interface homme-machine 45, l'instruction de deuxième type. Le module de réception 50 est alors configuré pour recevoir l'altitude H du point de vue périphérique O_V par rapport au repère de référence R_{REF} , ainsi que la longitude et la latitude du point de vue périphérique O_V .
- [0102] Le module d'obtention 55 est configuré pour obtenir, par exemple depuis le gyroscope 15, l'orientation de l'aéronef 10. Comme décrit précédemment, l'orientation de l'aéronef 10 obtenue comprend par exemple au moins un angle d'orientation parmi l'angle de roulis de l'aéronef 10, l'angle de gisement de l'aéronef 10 et l'angle de site de l'aéronef 10. Préférentiellement, le module d'obtention 55 est configuré pour obtenir l'angle de roulis de l'aéronef 10, l'angle de gisement de l'aéronef 10 et l'angle de site de l'aéronef 10 par rapport au repère de référence R_{REF} .
- [0103] Par exemple, le module d'obtention 55 est configuré pour obtenir l'altitude ALT de l'aéronef 10 depuis l'altimètre 20.
- [0104] Le module d'acquisition 55 est configuré pour acquérir, depuis chaque caméra 25, une image respective, dite image acquise.
- [0105] Le module de calcul 65 est configuré pour calculer une fonction de transfert respective pour chaque caméra 25. Chaque fonction de transfert est destinée à être appliquée à un pixel de l'image périphérique pour identifier un éventuel pixel correspondant dans l'image acquise associée à la fonction de transfert.
- [0106] Par exemple, chaque fonction de transfert associée à la position en abscisse u_v et à la position en ordonnée v_v d'un pixel de l'image périphérique, la position en abscisse u_c et la position en ordonnée v_c d'un éventuel pixel correspondant dans l'image acquise associée à la fonction de transfert.
- [0107] Préférentiellement, chaque fonction de transfert vérifie :
- [0108] [Math 1]
- [0109]
$$u_c = \frac{a_u + b_u u_v + c_u v_v}{a' + b' u_v + c' v_v}$$

[0110] et

[0111] [Math.2]

$$v_c = \frac{a_c + b_c u_c + c_c v_c}{a' + b' u_v + c' v_v}$$

[0112] où u_c est la position en abscisse du pixel de l'image acquise par la caméra 25,

[0113] v_c est la position en ordonnée du pixel de l'image acquise par la caméra 25,

[0114] u_v est la position en abscisse du pixel de l'image périphérique,

[0115] v_v est la position en ordonnée du pixel de l'image périphérique,

[0116] $a', b', c', a_{ub}, b_{ub}, c_{ub}, a_v, b_v, c_v$ sont des premier à neuvième coefficients propres à chaque caméra 25.

[0117] On remarque que le dénominateur de chaque fraction de la fonction de transfert est le même, ce dénominateur est appelé dénominateur commun par la suite, et est noté DEN. Le dénominateur commun DEN vérifie notamment :

[0118] [Math.3]

$$DEN = a' + b' u_v + c' v_v$$

[0119] Avant de décrire plus en détails le module de calcul 65, le principe géométrique derrière chaque fonction de transfert est expliqué en référence à la [Fig.2].

[0120] Sur la figure 2, le repère R_c associé à une caméra 25 respective est représenté sur la gauche. Ce repère R_c a pour origine le centre O_c de la caméra 25. Sur la droite de la figure 2, est représenté le point de vue périphérique O_v et son repère associé R_v . Le repère périphérique R_v comprend un premier axe périphérique \vec{i}_v , un deuxième axe périphérique \vec{j}_v et un troisième axe périphérique \vec{k}_v , perpendiculaires entre eux.

[0121] Toujours sur la [Fig.2], un point cible M sur le sol 36 est représenté. Des droites respectives relient le point cible M et chacun du centre O_c de la caméra 25 et du point de vue périphérique O_v .

[0122] La droite reliant le point cible M et le centre O_c de la caméra 25 intersecte un premier plan 95 respectif du repère R_c associé à la caméra 25 en un premier point d'intersection P_c . Le premier plan 95 correspond à l'image acquise par ladite caméra 25. Le premier plan 95 est perpendiculaire au premier axe de caméra \vec{i}_c .

[0123] Le vecteur $\overrightarrow{O_c P_c}$ vérifie, dans le repère R_c associé à la caméra 25,

[0124] [Math.4]

$$\left(\overrightarrow{O_c P_c} \right)_c = \begin{pmatrix} f_c \\ u_c \\ v_c \end{pmatrix}$$

[0125] où :

- u_c et v_c sont les positions en abscisse et en ordonnée du pixel associé au point P_c dans l'image acquise, et

- $(\overline{O_C P_C})_C$ est le vecteur $\overline{O_C P_C}$ exprimé dans le repère R_C .

[0126] La droite reliant le point cible M et le point de vue périphérique O_V intersecte un deuxième plan 100 respectif du repère périphérique R_V en un deuxième point d'intersection P_V . Le deuxième plan 100 correspond à l'image périphérique à générer. Le deuxième plan 100 est perpendiculaire au premier axe périphérique \vec{i}_v .

[0127] Le vecteur $\overline{O_V P_V}$ vérifie, dans le repère périphérique R_V ,

[0128] [Math.5]

$$(\overline{O_V P_V})_V = \vec{d}_V = \begin{pmatrix} f_v \\ u_v \\ v_v \end{pmatrix}$$

[0129] où:

- u_v et v_v sont les positions en abscisse et en ordonnée du pixel associé au point P_V dans l'image périphérique, et
- $(\overline{O_V P_V})_V$ est le vecteur $\overline{O_V P_V}$ exprimé dans le repère périphérique R_V .

[0130] De manière astucieuse, on remarque que le vecteur $\overline{O_C M}$ est égal à la somme des vecteurs $\overline{O_C O_V}$ et $\overline{O_V M}$.

[0131] On remarque ensuite, de manière astucieuse, que le vecteur $\overline{O_V M}$ est proportionnel au vecteur $\overline{O_V P_V}$. Compte tenu de cette relation de proportionnalité, le vecteur $\overline{O_V M}$ vérifie, dans le repère R_C associé la caméra 25, la relation suivante.

[0132] [Math.6]

$$(\overline{O_V M})_C = \frac{H}{\langle \overline{O_V P_V}, \hat{R}_V \vec{k} \rangle} \hat{R}_V^T \hat{R}_C \vec{d}_V$$

[0133] où :

- H est l'altitude du point de vue périphérique O_V ,
- $\langle \cdot, \cdot \rangle$ est l'opérateur produit scalaire,
- \hat{R}_C est la matrice de rotation entre le repère R_C associé à la caméra 25 et le repère de référence R_{REF} ,
- \hat{R}_V est la matrice de rotation entre le repère périphérique R_V et le repère de référence R_{REF} ,
- T est l'opérateur transposé,
- \vec{k} est le vecteur prédéfini $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$, et
- $(\overline{O_V M})_C$ est le vecteur $\overline{O_V M}$ exprimé dans le repère R_C associé à la caméra

25.

- [0134] Ainsi, le vecteur $\left(\overline{O_V M}\right)_C$ exprimé dans le repère R_C associé à la caméra 25, dépend du vecteur \vec{d}_V , et donc de la position en abscisse u_v et en ordonnée v_v du pixel dans l'image périphérique.
- [0135] En outre, on remarque que le vecteur $\overline{O_C O_V}$ est indépendant des positions des pixels dans l'image périphérique et dans l'image acquise. En particulier, le vecteur $\overline{O_C O_V}$ est égal à la somme du vecteur $\overline{O_C O_{AV}}$ et du vecteur $\overline{O_{AV} O_V}$.
- [0136] Or, le vecteur $\overline{O_C O_{AV}}$ est connu car prédéfini. En effet, le vecteur $\overline{O_C O_{AV}}$ dépend uniquement de la position de la caméra 25 par rapport au centre O_{AV} de l'aéronef 10.
- [0137] Le vecteur $\overline{O_{AV} O_V}$ dépend, quant à lui, de la position obtenue du point de vue périphérique O_V par rapport au centre O_{AV} de l'aéronef 10.
- [0138] Si l'instruction reçue depuis l'interface homme-machine 45 est du premier type, le vecteur $\overline{O_{AV} O_V}$ est un vecteur vertical dans le repère de référence R_{REF} dont une norme est égal à la distance obtenue du point de vue périphérique O_V par rapport au centre O_{AV} de l'aéronef 10. Ainsi, le vecteur $\overline{O_{AV} O_V}$ dans le repère R_C associé à la caméra 25 vérifie,
- [0139] [Math.7]
- $$\left(\overline{O_{AV} O_V}\right)_C = \hat{R}_i^T \hat{R}_{AV}^T \left(\overline{O_{AV} O_V}\right)_{REF}$$
- [0140] où :
- \hat{R}_i est la matrice de rotation entre le repère R_C associé à la caméra 25 et le repère R_{AV} associé à l'aéronef 10,
 - \hat{R}_{AV} est la matrice de rotation entre le repère R_{AV} associé à l'aéronef 10 et le repère de référence R_{REF} , et
 - $\left(\overline{O_{AV} O_V}\right)_{REF}$ est le vecteur $\overline{O_{AV} O_V}$ exprimé dans le repère de référence R_{REF} , et est constant.
- [0141] Si l'instruction reçue depuis l'interface homme-machine 45 est du deuxième type, le vecteur $\overline{O_{AV} O_V}$ est variable dans le temps, en fonction de la position du centre O_{AV} de l'aéronef 10 par rapport au sol 36.
- [0142] Ainsi, le vecteur $\overline{O_{AV} O_V}$ est par exemple déterminé par transformation du triplé obtenu comprenant l'altitude H , la longitude et la latitude en coordonnées cartésiennes dans le repère de référence R_{REF} centré sur le centre O_{AV} de l'aéronef 10, permettant d'obtenir le vecteur $\overline{O_{AV} O_V}$ exprimé dans le repère de référence R_{REF} . Le vecteur

$\overline{O_{AV}O_V}$ exprimé dans le repère R_C associé à la caméra 25, est ensuite obtenu par application de l'équation (7).

[0143] Dans chacun des cas précités, le vecteur $\overline{O_C O_V}$ exprimé dans le repère R_C associé à la caméra 25, vérifie donc :

[0144] [Math.8]

$$\left(\overline{O_C O_V} \right)_C = \hat{R}_i^T \left(\overline{O_C O_{AV}} \right)_{AV} + \hat{R}_i^T \hat{R}_{AV}^T \left(\overline{O_{AV} O_V} \right)_{REF}$$

[0145] En remarquant astucieusement que le vecteur $\overline{O_C \overline{M}}$ est colinéaire du vecteur $\overline{O_C \overline{P}_C}$,

le rapport entre composantes respectives des vecteurs $\overline{O_C \overline{M}}$ et $\overline{O_C \overline{P}_C}$ sont égaux.

Autrement dit, le rapport entre la deuxième composante et la première composante du vecteur $\overline{O_C \overline{M}}$ est égal au rapport entre la deuxième composante et la première

composante du vecteur $\overline{O_C \overline{P}_C}$. De manière analogue, le rapport entre la troisième

composante et la première composante du vecteur $\overline{O_C \overline{M}}$ est égal au rapport entre la

troisième composante et la première composante du vecteur $\overline{O_C \overline{P}_C}$.

[0146] On en déduit alors les équations suivantes.

[0147] [Math.9]

$$\frac{u_c}{f_c} = \frac{\left(\overline{O_C O_V} \right)_C + \frac{H}{\langle \overline{O_V \overline{P}_V}, \hat{R}_V^T \overline{K} \rangle} \hat{R}_C^T \hat{R}_V \overline{d}_V, \overline{J} \right)}{\left(\overline{O_C O_V} \right)_C + \frac{H}{\langle \overline{O_V \overline{P}_V}, \hat{R}_V^T \overline{K} \rangle} \hat{R}_C^T \hat{R}_V \overline{d}_V, \overline{I} \right)}$$

[0148] [Math.10]

$$\frac{v_c}{f_c} = \frac{\left(\overline{O_C O_V} \right)_C + \frac{H}{\langle \overline{O_V \overline{P}_V}, \hat{R}_V^T \overline{K} \rangle} \hat{R}_C^T \hat{R}_V \overline{d}_V, \overline{K} \right)}{\left(\overline{O_C O_V} \right)_C + \frac{H}{\langle \overline{O_V \overline{P}_V}, \hat{R}_V^T \overline{K} \rangle} \hat{R}_C^T \hat{R}_V \overline{d}_V, \overline{I} \right)}$$

[0149] où :

- \overline{I} est le vecteur $\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$, et
- \overline{J} est le vecteur $\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$.

[0150] Une factorisation astucieuse des équations (9) et (10) permet d'écrire les équations suivantes.

[0151] [Math.11]

$$u_c = \frac{\langle \overline{d}_V, \overline{B} \rangle}{\langle \overline{d}_V, \overline{A} \rangle}$$

[0152] [Math.12]

$$v_c = \frac{\langle \vec{d}_v, \vec{C} \rangle}{\langle \vec{d}_v, \vec{A} \rangle}$$

[0153] où \vec{A} , \vec{B} et \vec{C} sont des première à troisième grandeurs vérifiant,

[0154] [Math.13]

$$\vec{A} = \left\langle \left(\overline{O_C O_V} \right)_C, \vec{I} \right\rangle \hat{R}_V^T \vec{K} + H \hat{R}_V^T \widehat{R}_C \vec{I}$$

[0155] [Math.14]

$$\vec{B} = f_c \left\langle \left(\overline{O_C O_V} \right)_C, \vec{J} \right\rangle \hat{R}_V^T \vec{K} + f_c H \hat{R}_V^T \widehat{R}_C \vec{J}$$

[0156] [Math.15]

$$\vec{C} = \left\langle \left(\overline{O_C O_V} \right)_C, \vec{K} \right\rangle \hat{R}_V^T \vec{K} + f_c H \hat{R}_V^T \widehat{R}_C \vec{K}$$

[0157] La première grandeur \vec{A} est représentative d'une contribution, selon le premier axe de caméra \vec{i}_c , du vecteur $\overline{O_C M}$ reliant l'origine O_C du repère R_C associé à la caméra 25 et le point cible M. En particulier, le produit scalaire entre la première grandeur \vec{A} et le vecteur \vec{d}_v est égal à la composante du vecteur $\overline{O_C M}$ selon le premier axe de caméra \vec{i}_c .

[0158] La deuxième grandeur \vec{B} est représentative d'une contribution, selon le deuxième axe de caméra \vec{j}_c , du vecteur $\overline{O_C M}$ reliant l'origine O_C du repère R_C associé à la caméra 25 et le point cible M. En particulier, le produit scalaire entre la deuxième grandeur \vec{B} et le vecteur \vec{d}_v est égal au produit entre la composante du vecteur $\overline{O_C M}$ selon le deuxième axe de caméra \vec{j}_c et la focale f_c de la caméra 25.

[0159] La troisième grandeur \vec{C} est représentative d'une contribution, selon le troisième axe de caméra \vec{k}_c , du vecteur $\overline{O_C M}$ reliant l'origine O_C du repère R_C associé à la caméra 25 et le point cible M. En particulier, le produit scalaire entre la troisième grandeur \vec{C} et le vecteur \vec{d}_v est égal au produit entre la composante du vecteur $\overline{O_C M}$ selon le troisième axe de caméra \vec{k}_c et la focale f_c de la caméra 25.

[0160] On remarque alors que les première à troisième grandeurs \vec{A} , \vec{B} , \vec{C} sont indépendantes des positions en abscisse u_v et en ordonnée v_v d'un quelconque pixel de l'image périphérique. Ainsi, ces grandeurs \vec{A} , \vec{B} , \vec{C} sont, pour une image acquise définie, constantes pour tous pixels de l'image périphérique à générer.

[0161] Il est clair que les éléments décrits précédemment sont applicables à chaque image acquise d'une caméra 25 respective.

[0162] De nouveau en référence à la figure 1, le module de calcul 65 est configuré pour calculer, pour chaque caméra 25, la matrice de rotation \hat{R}_C entre le repère R_C associé à

ladite caméra 25 et le repère de référence R_{REF} , à partir de l'orientation obtenue depuis le gyroscope 15.

- [0163] Pour cela, le module de calcul 65 est par exemple configuré pour calculer la matrice de rotation \hat{R}_{AV} entre le repère R_{AV} associé à l'aéronef 10 et le repère de référence R_{REF} , à partir de l'orientation obtenue depuis le gyroscope 15, préférentiellement à partir d'au moins un angle parmi l'angle de roulis de l'aéronef 10, l'angle de gisement de l'aéronef 10 et l'angle de site de l'aéronef 10, plus préférentiellement à partir de chacun de l'angle de roulis de l'aéronef 10, de l'angle de gisement de l'aéronef 10 et de l'angle de site de l'aéronef 10.
- [0164] Le module de calcul 65 est par exemple configuré pour calculer le produit entre cette dernière matrice de rotation \hat{R}_{AV} , et la matrice de rotation \hat{R}_i prédéfinie entre le repère R_C associé à chaque caméra 25 et le repère R_{AV} associé à l'aéronef 10.
- [0165] En complément facultatif, le module de calcul 65 est configuré pour calculer la matrice de rotation \hat{R}_V entre le repère périphérique R_V et le repère de référence R_{REF} , à partir de la matrice de rotation \hat{R}_{AV} entre le repère R_{AV} associé à l'aéronef 10 et le repère de référence R_{REF} .
- [0166] Par exemple, le module de calcul 65 est configuré pour calculer, si l'instruction reçue depuis l'interface homme-machine 45 est du premier type, ladite matrice de rotation \hat{R}_V dans laquelle l'angle de gisement associé à cette matrice \hat{R}_V est égal à l'angle de gisement de l'aéronef 10, l'angle de site associé à cette matrice \hat{R}_V est égal à -90° et l'angle de roulis associé à cette matrice \hat{R}_V est égal à 0° .
- [0167] Par exemple, le module de calcul 65 est configuré pour calculer, si l'instruction reçue depuis l'interface homme-machine 45 est du deuxième type, ladite matrice de rotation \hat{R}_V dans laquelle l'angle de gisement associé à cette matrice \hat{R}_V est égal à 0° , l'angle de site associé à cette matrice \hat{R}_V est égal à -90° et l'angle de roulis associé à cette matrice \hat{R}_V est égal à 0° .
- [0168] En complément facultatif, le module de calcul 65 est configuré pour calculer le vecteur $\overline{O_C O_V}$, dans le repère R_C associé à la caméra 25, à partir de la position obtenue du point de vue périphérique O_V , par exemple selon l'équation (8).
- [0169] En complément facultatif, le module de calcul 65 est configuré pour calculer l'altitude H du point de vue périphérique O_V à partir de l'altitude ALT de l'aéronef 10 et/ou de la position reçue du point de vue périphérique O_V .
- [0170] Pour cela, le module de calcul 65 est par exemple configuré pour déterminer, si l'instruction reçue est du premier type, l'altitude H du point de vue périphérique O_V comme étant la somme de l'altitude ALT de l'aéronef 10 et de la distance reçue depuis

l'interface homme-machine 45.

- [0171] Pour cela, le module de calcul 65 est par exemple configuré pour déterminer, si l'instruction reçue est du deuxième type, l'altitude H du point de vue périphérique O_v comme étant l'altitude H reçue depuis l'interface homme-machine 45.
- [0172] Le module de calcul 65 est configuré pour calculer ensuite les première \vec{A} , deuxième \vec{B} et troisième \vec{C} grandeurs selon les équations (13), (14) et (15), prises en combinaison avec l'équation (8). Pour rappel, dans les équations (8), (13), (14) et (15), la matrice \hat{R}_i , le vecteur $\left(\overline{O_C O_{AV}}\right)_{AV}$ dans le repère R_{AV} associé à l'aéronef 10, le vecteur \vec{I} , le vecteur \vec{J} , le vecteur \vec{K} et la focale f_C sont constants et prédéterminés.
- [0173] Le module de calcul 65 est configuré pour déterminer les premier a' , deuxième b' et troisième c' coefficients à partir de la première grandeur \vec{A} . Pour cela, le premier coefficient a' est par exemple égal au produit entre la première composante de la première grandeur \vec{A} et la focale f_v associée au point de vue périphérique O_v . Le deuxième coefficient b' est par exemple égal à la deuxième composante de la première grandeur \vec{A} . Le troisième coefficient c' est par exemple égal à la troisième composante de la première grandeur \vec{A} .
- [0174] Le module de calcul 65 est en outre configuré pour déterminer les quatrième a_u , cinquième b_u et sixième c_u coefficients à partir de la deuxième grandeur \vec{B} . Le quatrième coefficient a_u est par exemple égal au produit entre la première composante de la deuxième grandeur \vec{B} et la focale f_v associée au point de vue périphérique O_v . Le cinquième coefficient b_u est par exemple égal à la deuxième composante de la deuxième grandeur \vec{B} . Le sixième coefficient c_u est par exemple égal à la troisième composante de la deuxième grandeur \vec{B} .
- [0175] Le module de calcul 65 est configuré pour déterminer les septième a_v , huitième b_v et neuvième c_v coefficients à partir de la troisième grandeur \vec{C} . Le septième coefficient a_v est par exemple égal au produit entre la première composante de la troisième grandeur \vec{C} et la focale f_v associée au point de vue périphérique O_v . Le huitième coefficient b_v est par exemple égal à la deuxième composante de la troisième grandeur \vec{C} . Le neuvième coefficient c_v est par exemple égal à la troisième composante de la troisième grandeur \vec{C} .
- [0176] Le module de calcul 65 est configuré pour effectuer les calculs et déterminations précédents pour chaque caméra 25.
- [0177] Le module de génération 70 est configuré pour générer l'image périphérique à partir des images acquises depuis chaque caméra 25 et à partir de chaque fonction de transfert calculée.
- [0178] Le module de génération 70 est configuré pour appliquer, à chaque pixel de l'image périphérique, la fonction de transfert associée à chaque caméra 25 respective.

Autrement dit, on entend par « chaque pixel de l'image périphérique », chaque couple de positions en abscisse u_v et en ordonnée v_v d'un pixel de l'image périphérique.

[0179] Préférentiellement, le module de génération 70 est configuré pour effectuer les actions suivantes pour chaque fonction de transfert.

[0180] Le module de génération 70 est configuré pour calculer, pour chaque pixel de l'image périphérique, i.e. pour chaque couple u_v, v_v , le produit scalaire entre le vecteur $\overrightarrow{O_V P_V}$ et le vecteur \vec{K} , définis précédemment, dit produit scalaire de vérification. Pour cela, le module de génération 70 est configuré pour calculer le vecteur \vec{K} dans le repère périphérique R_V , par exemple à l'aide de la matrice de rotation \hat{R}_V entre le repère périphérique R_V et le repère de référence R_{REF} . En effet, un produit scalaire entre deux vecteurs ne peut être calculé que si lesdits vecteurs sont exprimés dans un même repère. Ainsi, le module de génération 70 est par exemple configuré pour effectuer le calcul suivant.

[0181] [Math.16]

$$\langle \vec{d}_v, \hat{R}_V \vec{K} \rangle$$

[0182] Le module de génération 70 est configuré pour, si le produit scalaire de vérification calculé selon l'équation (16) est négatif ou nul, déterminer un résultat incorrect pour l'application de ladite fonction de transfert auxdits pixels de l'image périphérique. Le résultat incorrect est par exemple une valeur prédéterminée, telle que la valeur 0.

[0183] Le module de génération 70 est configuré pour, si le produit scalaire de vérification est strictement positif, alors calculer le dénominateur commun DEN selon l'équation (3).

[0184] Le module de génération 70 est configuré pour, si le dénominateur commun calculé DEN est négatif ou nul, alors déterminer le résultat incorrect pour l'application de la fonction de transfert au pixel de l'image périphérique.

[0185] Le module de génération 70 est configuré pour, si le dénominateur commun calculé DEN est strictement positif, alors appliquer les équations (1) et respectivement (2), à la position u_v , respectivement v_v , du pixel de l'image périphérique.

[0186] Le module de génération 70 est configuré pour alors vérifier que la position u_c, v_c issue des équations (1) et (2) correspond bien à un pixel apparaissant dans l'image acquise.

[0187] Si le pixel associé à la position calculée u_c, v_c n'apparaît pas dans l'image acquise, alors le module de génération 70 est configuré pour déterminer le résultat incorrect. Si la position calculée u_c, v_c correspond bien à un pixel de l'image acquise, alors le module de génération 70 est configuré pour déterminer cette position u_c, v_c comme résultat de l'application de la fonction de transfert au pixel de l'image périphérique.

[0188] Le module de génération 70 est configuré pour effectuer les étapes précédentes pour

chaque pixel de l'image périphérique. Autrement dit, le module de génération 70 est configuré pour effectuer un balayage de l'image périphérique, et pour calculer, pour chaque pixel dudit balayage, la position u_c , v_c du pixel dans l'image acquise ou le résultat incorrect le cas échéant. On appelle « résultat valide », la position u_c , v_c si elle correspond à un pixel apparaissant dans l'image acquise.

- [0189] Le module de génération 70 est configuré pour effectuer un tel balayage pour chaque caméra 25, et donc pour chaque fonction de transfert associée.
- [0190] Le module de génération 70 est configuré pour, suite à l'application de chaque fonction de transfert à chaque pixel de l'image périphérique, appliquer une règle de mixage entre les images acquises, en fonction du nombre de résultat(s) valide(s).
- [0191] Pour une meilleure compréhension, la règle de mixage est décrite uniquement pour un seul pixel de l'image périphérique. Il est clair que le module de génération 70 est configuré pour applique la règle de mixage pour chaque pixel de l'image périphérique.
- [0192] La règle de mixage est la suivante :
- [0193] - si l'application de chaque fonction de transfert au pixel de l'image périphérique fournit la position d'un pixel dans une seule image acquise, i.e. un unique résultat valide, alors le contenu dudit pixel de l'image périphérique est égal au contenu du pixel de la seule image acquise correspondante,
- [0194] - si l'application de chaque fonction de fonction de transfert au pixel de l'image périphérique fournit des pixels pour plusieurs images acquises, i.e. plusieurs résultats valides, alors le contenu du pixel de l'image périphérique est égal au contenu du pixel d'image acquise qui est le plus central dans son image acquise respective, et
- [0195] - sinon, le pixel de l'image périphérique est égal à une couleur prédéfinie.
- [0196] La couleur prédéfinie est par exemple le noir.
- [0197] La [Fig.3] représente, sur sa gauche, trois images acquises par des caméras 25 respectives, et sur sa droite l'image périphérique générée.
- [0198] La [Fig.3] représente un exemple d'images réellement acquises et d'une image périphérique réellement générée. Ainsi, la [Fig.3] ne vise qu'à illustrer un exemple concret de génération d'une image périphérique à partir d'images réellement acquises. La [Fig.3] est alors purement illustrative, et n'est donc pas indispensable à la compréhension de l'invention.
- [0199] En référence à la [Fig.3], le pixel 105 de l'image périphérique correspond au pixel 110 des images acquises en haut à gauche et en bas à gauche de la [Fig.3]. Le module de génération 70 est configuré pour, dans un tel cas, sélectionner le pixel 110 de l'image acquise en bas à gauche de la [Fig.3] car c'est dans cette image acquise que le pixel est le plus central par rapport à son image respective, c'est-à-dire le plus proche du centre de l'image respective.
- [0200] Ainsi, le module de génération 70 est configuré pour générer l'image périphérique

complète dans laquelle chaque pixel, soit provient d'une image acquise respective, soit est de la couleur prédéfinie. Ainsi, dans l'image périphérique générée, les zones de la couleur prédéfinie correspondent aux zones pour lesquelles aucune caméra 25 n'a de visibilité.

- [0201] En complément facultatif, le module d'ajout 75 est configuré pour ajouter, dans l'image périphérique générée, un symbole représentant l'aéronef 10.
- [0202] Le module d'ajout 75 est configuré pour déterminer la taille et la position du symbole représentant l'aéronef 10 dans l'image périphérique. À cet effet, le module d'ajout 75 est par exemple configuré pour déterminer la taille du symbole représentant l'aéronef 10 à partir de la position reçue du point de vue périphérique O_v . Par exemple, le module d'ajout 75 est configuré pour déterminer cette taille à partir de l'altitude H du point de vue périphérique O_v , de la focale f_v associée au point de vue périphérique O_v et d'une dimension prédéfinie de l'aéronef 10.
- [0203] Si l'aéronef 10 est un hélicoptère, la dimension prédéfinie est par exemple le double de la longueur de chaque pale. La dimension prédéfinie correspond au diamètre du disque formé par la rotation des pales.
- [0204] En variante, si l'aéronef 10 est un avion, la dimension prédéfinie est par exemple l'envergure des ailes de l'avion.
- [0205] Le module d'ajout 75 est par exemple configuré pour calculer le rapport entre la focale f_v associée au point de vue périphérique O_v et l'altitude H du point de vue périphérique O_v , et pour multiplier ce rapport par la dimension prédéfinie, afin d'obtenir la taille du symbole représentant l'aéronef 10.
- [0206] Préférentiellement, le module d'ajout 75 est configuré pour en convertir la taille du symbole calculée en un nombre de pixel(s) correspondant en fonction d'une taille représentée par chaque pixel.
- [0207] Le module d'ajout 75 est en outre configuré pour déterminer la position du symbole représentant l'aéronef 10 dans l'image périphérique.
- [0208] Par exemple, le module d'ajout 75 est configuré pour, si l'instruction reçue depuis l'interface homme-machine 45 est du premier type, déterminer la position du symbole comme étant au centre de l'image périphérique. En effet, dans le cas où le point de vue périphérique O_v suit l'aéronef 10, le symbole est systématiquement placé au centre de l'image périphérique générée.
- [0209] Par exemple, le module d'ajout 75 est configuré pour, si l'instruction reçue depuis l'interface homme-machine 45 est du deuxième type, déterminer la position du symbole représentant l'aéronef 10 à partir du vecteur $\overrightarrow{O_{AV}O_v}$.
- [0210] Le module d'ajout 75 est configuré pour ensuite inclure dans l'image périphérique, le symbole représentant l'aéronef 10 aux taille et position déterminées.

- [0211] Le module d'envoi 80 est configuré pour envoyer l'image périphérique générée, à laquelle le symbole représentant l'aéronef 10 est éventuellement ajouté, à l'écran d'affichage 40 du dispositif d'affichage 30. L'image périphérique est destinée à être affichée par l'écran d'affichage 40, à destination du pilote de l'aéronef 10, comme expliqué précédemment.
- [0212] Le fonctionnement du dispositif électronique de génération 35 va maintenant être décrit au travers d'un procédé de génération 200 dont un organigramme est représenté sur la [Fig.4].
- [0213] L'aéronef 10 vole au-dessus du sol 36. Les caméras 25 capturent des images, par exemple à la fréquence de 20Hz, de 50 Hz ou de 100 Hz. Le gyroscope 15 mesure l'orientation de l'aéronef 10, et préférentiellement son angle de roulis, son angle de gisement et son angle de site par rapport au repère de référence R_{REF} . L'altimètre 20 de l'aéronef 10 mesure l'altitude ALT de l'aéronef 10 par rapport au sol 36 dans le repère de référence R_{REF} .
- [0214] Lors d'une étape d'initialisation 210, le dispositif de génération 35 obtient, pour chaque caméra 25, la focale f_c de la caméra 25 et le vecteur $\overline{O_C O_{AV}}$ reliant le centre O_c de la caméra 25 au centre O_{AV} de l'aéronef 10. Lors de l'étape d'initialisation 210 le dispositif de génération 35 obtient également la matrice de rotation \hat{R}_i entre le repère R_c associé à la caméra 25 et le repère R_{AV} associé à l'aéronef 10.
- [0215] Puis, le pilote de l'aéronef 10 sélectionne le point de vue périphérique O_v et optionnellement le type d'instruction et/ou la focale f_v associée au point de vue périphérique O_v , via l'interface homme-machine 45.
- [0216] Lors d'une étape de réception 220, le module de réception 50 reçoit, par exemple depuis l'interface homme-machine 45, la position du point de vue périphérique O_v et, le cas échéant, le type d'instruction et/ou la focale f_v associée au point de vue périphérique O_v sélectionnés par le pilote.
- [0217] Lors d'une étape d'obtention 230, le module d'obtention 55 obtient l'orientation de l'aéronef 10 par rapport au repère de référence R_{REF} par exemple depuis le gyroscope 15 et préférentiellement l'altitude ALT de l'aéronef 10 depuis l'altimètre 20.
- [0218] Lors d'une étape d'acquisition 240, le module d'acquisition 60 acquiert, depuis chaque caméra 25, une image acquise respective.
- [0219] Lors d'une étape de calcul 250, le module de calcul 65 calcule chaque fonction de transfert. Pour rappel, chaque fonction de transfert est définie par les équations (1) et (2).
- [0220] Lors de l'étape de calcul 250, le module de calcul 65 calcule chacun des premier à neuvième coefficients a' , b' , c' , a_u , b_u , c_u , a_v , b_v et c_v , pour chaque caméra 25.
- [0221] À cet effet, l'étape de calcul 250 comprend une première sous-étape de calcul 252

lors de laquelle le module de calcul 65 calcule la matrice de rotation \hat{R}_c entre le repère R_c associé à chaque caméra 25 et le repère de référence R_{REF} . Pour cela, le module de calcul 65 calcule par exemple ladite matrice \hat{R}_c à partir de la matrice de rotation \hat{R}_i entre le repère R_c associé à la caméra 25 et le repère R_{AV} associé à l'aéronef 10 obtenue précédemment, et calcule la matrice de rotation \hat{R}_{AV} entre le repère R_{AV} associé à l'aéronef 10 et le repère R_{REF} de référence dépendant de l'orientation obtenue de l'aéronef 10, comme expliqué précédemment.

- [0222] En complément facultatif, lors de la première sous-étape de calcul 252, le module de calcul 65 calcule la matrice de rotation \hat{R}_V entre le repère périphérique R_V et le repère R_{REF} de référence, l'altitude H du point de vue périphérique O_V par rapport au sol 36 et le vecteur $\overrightarrow{O_c O_V}$ exprimé dans le repère R_c associé à la caméra 25. Lors de la première sous-étape de calcul 252, le calcul des éléments précités dépend du type d'instruction reçu depuis l'interface homme-machine 45, comme expliqué précédemment.
- [0223] Puis, lors d'une deuxième sous-étape de calcul 254, le module de calcul 65 calcule les première \vec{A} , deuxième \vec{B} et troisième \vec{C} grandeurs, à partir de la matrice de rotation \hat{R}_c entre le repère R_c associé à chaque caméra 25 et le repère de référence R_{REF} , et optionnellement à partir de la focale f_c associée à la caméra 25, de la matrice de rotation \hat{R}_V entre le repère périphérique R_V et le repère de référence R_{REF} , de l'altitude H du point de vue périphérique O_V , du vecteur $\overrightarrow{O_c O_V}$ exprimé dans le repère R_c associé à la caméra 25, et des trois vecteurs prédéfinis \vec{I} , \vec{J} et \vec{K} . Pour cela, le module de calcul 65 applique par exemple les équations (13), (14) et (15).
- [0224] Puis, lors d'une première sous-étape de détermination 256, le module de calcul 65 détermine, à partir des première \vec{A} , deuxième \vec{B} et troisième \vec{C} grandeurs, les premier à neuvième coefficients a' , b' , c' , a_u , b_u , c_u , a_v , b_v et c_v , comme expliqué précédemment.
- [0225] Puis, lors d'une deuxième sous-étape de détermination 258, le module de calcul 65 détermine la fonction de transfert associée à la caméra 25, via les équations (1) et (2).
- [0226] La première sous-étape de calcul 252, la deuxième sous-étape de calcul 254, la première sous-étape de détermination 256 et la deuxième sous-étape de détermination 258 sont effectuées pour chaque caméra 25.
- [0227] Puis, lors d'une étape de génération 260, le module de génération 70 génère l'image périphérique à partir des images acquises depuis chaque caméra 25 et à partir de chaque fonction de transfert calculée lors de l'étape de calcul 250.
- [0228] Pour cela, l'étape de génération 260 comprend pour chaque pixel de l'image périphérique, les sous-étapes suivantes.
- [0229] Lors d'une sous-étape d'application 262, chaque fonction de transfert respective est appliquée au pixel de l'image périphérique.

- [0230] Par exemple, le module de génération 70 calcule d'abord le produit scalaire de vérification, par exemple à partir du vecteur \vec{d}_V , de la matrice de rotation \hat{R}_V entre le repère périphérique R_V et le repère de référence R_{REF} , et du vecteur \vec{K} . Ledit produit scalaire de vérification est calculé selon l'équation (16). Si le produit scalaire de vérification est négatif ou nul, alors le module de génération 70 détermine le résultat incorrect pour l'application de la fonction de transfert au pixel de l'image périphérique.
- [0231] Si le produit scalaire de vérification est strictement positif, le module de génération 70 calcule le dénominateur commun DEN, par exemple selon l'équation (3). Si le dénominateur commun DEN est négatif ou nul, alors le module de génération 70 détermine le résultat incorrect pour l'application de la fonction de transfert au pixel de l'image périphérique.
- [0232] Si le dénominateur commun DEN est strictement positif, alors le module de génération 70 calcule la position u_c, v_c du pixel de l'image acquise correspondant, par exemple selon les équations (1) et (2).
- [0233] Ainsi, chaque fonction de transfert fournit soit la position u_c, v_c d'un pixel de l'image acquise correspondant au pixel de l'image périphérique, soit le résultat incorrect.
- [0234] Le module de génération 70 vérifie si la position u_c, v_c du pixel issue de l'application de la fonction de transfert au pixel de l'image périphérique, correspond à un pixel apparaissant dans l'image acquise.
- [0235] Si oui, alors le module de génération 70 détermine la position u_c, v_c pour l'application de la fonction de transfert au pixel de l'image périphérique, le résultat étant valide.
- [0236] Sinon, le module de génération 70 détermine le résultat incorrect pour l'application de la fonction de transfert au pixel de l'image périphérique.
- [0237] Lors d'une sous-étape de comparaison 264, le module de génération 70 applique la règle de mixage en fonction du nombre de résultat(s) valide(s) issu(s) de l'application de chaque fonction de transfert au pixel de l'image périphérique.
- [0238] Si l'application de chaque fonction de transfert au pixel de l'image périphérique fournit la position d'un pixel dans une seule image acquise, i.e. un seul résultat valide, alors le contenu dudit pixel de l'image périphérique est égal au contenu du pixel de la seule image acquise correspondante, lors d'une première sous-étape d'affectation 266.
- [0239] Si l'application de chaque fonction de transfert au pixel de l'image périphérique fournit des pixels pour plusieurs images acquises, i.e. plusieurs résultats valides, alors le contenu du pixel de l'image périphérique est égal au contenu du pixel d'image acquise qui est le plus central dans son image acquise respective, lors d'une deuxième sous-étape d'affectation 267.
- [0240] Sinon, le contenu pixel de l'image périphérique est égal à la couleur prédéfinie lors de la troisième étape d'affectation 268. Pour rappel, la couleur prédéfinie est par

exemple le noir.

- [0241] Les sous-étapes d'application 262, de comparaison 264, et le cas échéant d'affectation 266, 267, 268 sont itérées pour chaque pixel de l'image périphérique. Ainsi, un seul balayage des pixels de l'image périphérique permet de générer ladite image périphérique.
- [0242] En complément facultatif, lors d'une étape d'ajout 280, le module d'ajout 75 ajoute, dans l'image périphérique générée, le symbole représentant l'aéronef 10.
- [0243] Pour cela, lors d'une sous-étape de détermination 282, le module d'ajout 75 détermine la taille et la position du symbole dans l'image générée à partir de la position reçue du point de vue périphérique O_v .
- [0244] À cet effet, le module d'ajout 75 détermine la taille du symbole par exemple à partir de l'altitude H du point de vue périphérique O_v , de la focale f_v associée au point de vue périphérique O_v et d'une dimension prédéfinie de l'aéronef 10, de la manière décrite précédemment.
- [0245] En outre, lors de la sous-étape de détermination 282, le module d'ajout 75 détermine la position du symbole dans l'image périphérique générée.
- [0246] Par exemple, si lors de l'étape de réception 220 l'instruction du premier type est reçue depuis l'interface homme-machine 45, le module d'ajout 75 détermine la position du symbole au centre de l'image périphérique générée.
- [0247] Selon un autre exemple, si lors l'étape de réception 220, l'instruction du deuxième type est reçue depuis l'interface homme-machine 45, le module d'ajout 75 détermine la position du symbole à partir du vecteur $\overrightarrow{O_{AV}O_v}$.
- [0248] Puis, l'étape d'ajout 280 comprend une sous-étape d'inclusion 284 lors de laquelle le symbole déterminé est inclus dans l'image périphérique.
- [0249] En complément facultatif également, le procédé 200 comprend une étape d'envoi 290 lors de laquelle le module d'envoi 80 envoie l'image périphérique générée à l'écran d'affichage 40 en vue de son affichage pour le pilote de l'aéronef 10.
- [0250] Il est clair que, si le procédé de génération 200 ne comprend pas l'étape facultative d'ajout 280, lors de l'étape d'envoi 290, l'image périphérique envoyée à l'écran d'affichage 40 est l'image périphérique générée lors de l'étape de génération 260.
- [0251] Il est également clair que, si le procédé 200 comprend l'étape facultative d'ajout 280, l'image périphérique envoyée lors de l'étape d'envoi 290 est l'image périphérique générée lors de l'étape 260 à laquelle le symbole représentant l'aéronef 10 est ajouté.
- [0252] Les étapes d'obtention 230, d'acquisition 240, de calcul 250, de génération 260, et facultativement d'ajout 280 et d'envoi 290 sont réitérées à une pluralité d'instantanés temporels successifs, la pluralité d'images périphériques générées formant un flux vidéo. Par exemple, lesdites étapes 230, 240, 250, 260, 280, 290 sont itérées à une

fréquence par exemple égale à 20 Hz. Une image périphérique est alors formée toutes les 0,05 s.

[0253] En variante, les étapes 230, 240, 250, 260, 280, 290 sont itérées à une fréquence comprise entre 50 Hz et 100 Hz. Autrement dit, une image périphérique est générée toutes les 0,01 s à 0,02 s.

[0254] L'étape de réception 220 est quant à elle, par exemple itérée à une fréquence plus faible. Par exemple, l'étape de réception 220 est itérée à une fréquence de 0,1 Hz. Autrement dit, la position du point de vue périphérique O_v , et/ou optionnellement le type d'instruction et la focale f_v associée au point de vue périphérique O_v , est/sont modifiée(s), et reçue(s), au plus une fois toutes les 10 secondes.

[0255] Selon une première variante, lors de l'étape d'obtention 230, le dispositif de génération 35 obtient uniquement une instruction du premier type ou uniquement une instruction du deuxième type. Alors, lors de l'étape de calcul 250, le module de calcul 65 effectue uniquement les calculs précités correspondant au type d'instruction que le dispositif de génération 35 est configuré pour recevoir. Selon cette première variante, l'interface homme-machine 45 est uniquement configurée pour recevoir, depuis le pilote, l'instruction du type correspondant.

[0256] Selon une deuxième variante, l'étape de calcul 250 ne comprend ni la deuxième sous-étape de calcul 254, ni la première sous-étape de détermination 256. Lors de la deuxième sous-étape de détermination 258, le module de calcul 65 calcule chaque fonction de transfert directement selon les équations suivantes.

[0257] [Math.17]

$$u_c = \frac{\langle \vec{d}_v, f_c \{ (\overline{O_C O_V})_C, \vec{J} \} \hat{R}_V^T \vec{K} + f_c \hat{H} \hat{R}_V^T \hat{R}_C \vec{J} \rangle}{\langle \vec{d}_v, \{ (\overline{O_C O_V})_C, \vec{I} \} \hat{R}_V^T \vec{K} + \hat{H} \hat{R}_V^T \hat{R}_C \vec{I} \rangle}$$

[0258] et

[0259] [Math.18]

$$v_c = \frac{\langle \vec{d}_v, f_c \{ (\overline{O_C O_V})_C, \vec{K} \} \hat{R}_V^T \vec{K} + f_c \hat{H} \hat{R}_V^T \hat{R}_C \vec{K} \rangle}{\langle \vec{d}_v, \{ (\overline{O_C O_V})_C, \vec{I} \} \hat{R}_V^T \vec{K} + \hat{H} \hat{R}_V^T \hat{R}_C \vec{I} \rangle}$$

[0260] Selon cette deuxième variante, lors de la sous-étape d'application 262 de l'étape de génération 260, le module de génération 70 calcule le dénominateur commun DEN selon l'équation suivante.

[0261] [Math.19]

$$DEN = \langle \vec{d}_v, \{ (\overline{O_C O_V})_C, \vec{I} \} \hat{R}_V^T \vec{K} + \hat{H} \hat{R}_V^T \hat{R}_C \vec{I} \rangle$$

[0262] Le module de génération 70 applique ensuite les équations (17) et (18) plutôt que les équations (1) et (2).

[0263] Le dispositif électronique de génération 35 et le procédé de génération 200 associé

permettent donc de générer rapidement l'image périphérique à partir d'un nombre réduit de capteurs, les capteurs comprenant des caméras 25 et préférentiellement un gyroscope 15 et un altimètre 20. De tels capteurs sont moins onéreux que des capteurs RADAR ou LIDAR.

- [0264] La forme de chaque fonction de transfert calculée lors de l'étape de calcul 250 permet, lors de l'étape de génération 260, de générer l'image périphérique en balayant une seule fois, chaque pixel de l'image périphérique. Ainsi, la génération de l'image périphérique est accélérée permettant de suivre une cadence dite de temps réel. L'expression « temps réel » est entendue ici au sens d'une image générée au maximum toutes les 0,05 s, préférentiellement toutes les 0,01 s à 0,02 s, et ne requérant pas d'images acquises pour des instants antérieurs à celui auquel l'image périphérique est générée. Autrement dit, chaque image périphérique est générée de manière indépendante des autres images périphériques générées à des instants antérieurs.
- [0265] En outre, la factorisation astucieuse dont sont issues les première \vec{A} , deuxième \vec{B} et troisième \vec{C} grandeurs, permet de ne calculer qu'une seule fois, pour l'ensemble des pixels de l'image périphérique, lesdites grandeurs \vec{A} , \vec{B} , \vec{C} . En effet, le calcul des grandeurs \vec{A} , \vec{B} , \vec{C} est le calcul le plus complexe du procédé de génération 200. Ainsi, effectuer ces calculs une seule fois contribue à accélérer fortement la mise en œuvre du procédé de génération 200.
- [0266] L'instruction du premier type permet une visualisation de l'environnement défilant autour de l'aéronef 10. Cette vision est particulièrement avantageuse lors d'un décollage ou d'un atterrissage de l'aéronef 10, notamment dans des zones accidentées pour lesquelles la visibilité du pilote est limitée.
- [0267] L'instruction du deuxième type permet la surveillance d'une zone au-dessus de laquelle l'aéronef 10 évolue. Cette surveillance permet de détecter différents objets au sol 36. Cette surveillance permet notamment de détecter si un objet au sol est en mouvement par rapport au repère de référence R_{REF} puisque l'image périphérique générée est fixe par rapport au repère de référence R_{REF} .
- [0268] La surveillance de zone a une pluralité d'applications telles que le repérage de personnes perdues en montagne ou en mer. En outre, la surveillance de zone permet de distinguer si un objet à la surface d'une mer survolée par l'aéronef 10 est un objet fixe tel qu'un rocher, ou encore un objet mobile, tel qu'un périscope d'un sous-marin.
- [0269] En outre, l'étape facultative d'ajout 280 permet au pilote de mieux appréhender les dimensions des différents objets visibles sur l'image périphérique, par rapport à celles de l'aéronef 10 qu'il pilote.
- [0270] De plus, la règle de mixage améliore la qualité de l'image périphérique générée puisqu'elle permet, lorsque le pixel de l'image périphérique correspond à plusieurs pixels des images acquises respectives, de sélectionner le pixel le plus central dans son

image respective et donc de s'affranchir, le plus possible, d'effet(s) de distorsion sur les bords des images acquises.

[0271] En outre, la règle de mixage permet, lorsque le pixel de l'image périphérique ne correspond à aucun pixel des images acquises, de ne pas interrompre la génération de l'image périphérique mais uniquement de signaler au pilote cette absence d'information par un pixel de la couleur prédéfinie.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé (200) de génération d'une image périphérique d'un aéronef (10), l'image périphérique comportant une pluralité de pixels obtenus à partir d'une pluralité de caméras (25) équipant l'aéronef, le procédé (200) étant mis en œuvre par un dispositif électronique de génération (35) et comprenant les étapes suivantes :
- réception (220) d'une position d'un point de vue périphérique (O_v) correspondant au point de vue à partir duquel l'image périphérique est à générer,
 - obtention (230) d'une orientation de l'aéronef (10),
 - acquisition (240) d'une image respective depuis chaque caméra (25),
 - calcul (250) d'une fonction de transfert respective pour chaque caméra (25), chaque fonction de transfert étant destinée à être appliquée à un pixel de l'image périphérique pour identifier un éventuel pixel correspondant de l'image acquise associée à la fonction de transfert, et
 - génération (260) de l'image périphérique à partir des images acquises depuis chaque caméra (25) et de chaque fonction de transfert calculée, dans lequel chaque fonction de transfert associée à la position en abscisse (u_v) et à la position en ordonnée (v_v) d'un pixel de l'image périphérique, la position en abscisse (u_c) et la position en ordonnée (v_c) d'un éventuel pixel correspondant dans l'image acquise associée à la fonction de transfert.
- [Revendication 2] Procédé (200) selon la revendication 1, dans lequel l'orientation de l'aéronef (10) obtenue comprend au moins un angle d'orientation parmi un angle de roulis de l'aéronef (10), un angle de gisement de l'aéronef (10) et un angle de site de l'aéronef (10).
- [Revendication 3] Procédé (200) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel chaque fonction de transfert est configurée pour déterminer, lorsqu'elle est appliquée à un pixel de l'image périphérique :
- une position (u_c, v_c) d'un pixel associé dans l'image acquise si le pixel de l'image périphérique correspond à un pixel de l'image acquise, ou bien
 - un résultat incorrect sinon.
- [Revendication 4] Procédé (200) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel lors de l'étape de génération (260), le contenu de chaque pixel de l'image périphérique est déterminé via l'application audit pixel de la fonction de transfert respective et via l'application d'une règle de

mixage des images acquises.

[Revendication 5]

Procédé (200) selon les revendications 3 et 4, dans lequel la règle de mixage est :

- si l'application de chaque fonction de transfert au pixel de l'image périphérique fournit la position d'un pixel dans une seule image acquise, alors le contenu dudit pixel de l'image périphérique est égal au contenu du pixel de la seule image acquise correspondante,
- si l'application de chaque fonction de transfert au pixel de l'image périphérique fournit des pixels pour plusieurs images acquises, alors le contenu du pixel de l'image périphérique est égal au contenu du pixel d'image acquise qui est le plus central dans son image acquise respective, et
- sinon, le pixel de l'image périphérique est égal à une couleur prédéfinie.

[Revendication 6]

Procédé (200) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une étape d'envoi (290) de l'image périphérique, à un dispositif d'affichage (30) en vue de son affichage à destination d'un pilote de l'aéronef (10).

[Revendication 7]

Procédé (200) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une étape d'ajout (280) d'un symbole représentant l'aéronef (10) dans l'image périphérique générée, l'étape d'ajout (280) comprenant :

- détermination (282) d'une taille et d'une position du symbole représentant l'aéronef (10), en fonction de la position du point de vue périphérique (O_v),
- inclusion (284) dans l'image périphérique, du symbole représentant l'aéronef (10).

[Revendication 8]

Procédé (200) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les étapes d'obtention (230), d'acquisition (240), de calcul (250) et de génération (260) sont réitérées plusieurs fois, la pluralité d'images périphériques générées formant un flux vidéo.

[Revendication 9]

Procédé (200) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque fonction de transfert vérifie :

$$u_c = \frac{a_u + b_u u_v + c_u v_v}{a' + b' u_v + c' v_v}$$

$$v_c = \frac{a_v + b_v u_v + c_v v_v}{a' + b' u_v + c' v_v}$$

où u_c est la position en abscisse du pixel de l'image acquise par la

caméra (25),

v_c est la position en ordonnée du pixel de l'image acquise par la caméra (25),

u_v est la position en abscisse du pixel de l'image périphérique,

v_v est la position en ordonnée du pixel de l'image périphérique,

$a', b', c', a_{uv}, b_{uv}, c_{uv}, a_{vv}, b_{vv}, c_{vv}$ sont des premier à neuvième coefficients propres à chaque caméra (25).

[Revendication 10] Procédé (200) selon la revendication 9, dans lequel l'étape de calcul (260) comprend la détermination des premier à neuvième coefficients ($a', b', c', a_{uv}, b_{uv}, c_{uv}, a_{vv}, b_{vv}, c_{vv}$) en utilisant que, pour tout point cible (M) apparaissant sur l'image acquise et sur l'image périphérique, le vecteur $(\overline{O_c M})$ reliant une origine (O_c) du repère (R_c) associé à la caméra (25) et ce point cible (M), passe par le point de coordonnées :

$$\begin{pmatrix} f_c \\ u_c \\ v_c \end{pmatrix}$$

dans le repère (R_c) associé à la caméra (25)

où :

- f_c est la focale de la caméra (25),
- les positions en abscisse (u_c) et ordonnée (v_c) du pixel dépendent d'une matrice de rotation (\hat{R}_c) entre le repère (R_c) associé à la caméra (25) et le repère de référence (R_{REF}), la matrice de rotation (\hat{R}_c) dépendant de l'orientation obtenue de l'aéronef (10).

[Revendication 11] Procédé (200) selon la revendication 10, dans lequel le repère (R_c) associé à la caméra (25) comprend un premier axe de caméra (\vec{i}_c), un deuxième axe de caméra (\vec{j}_c) et un troisième axe de caméra (\vec{k}_c), perpendiculaires entre eux,

l'étape de calcul (260) de chaque fonction de transfert comprenant, pour chaque caméra, les sous-étapes suivantes :

- calcul (252) de la matrice de rotation (\hat{R}_c) entre le repère (R_c) associé à la caméra (25) et le repère de référence (R_{REF}), à partir de l'orientation de l'aéronef (10),
- calcul (254) pour tout point (M) :

+ d'une première grandeur (\vec{A}) représentative d'une contribution, selon le premier axe de caméra (\vec{i}_c), du vecteur ($\overrightarrow{O_c M}$) reliant l'origine (O_c) du repère (R_c) associé à la caméra (25) et le point cible (M),
 + d'une deuxième grandeur (\vec{B}) représentative d'une contribution, selon le deuxième axe de caméra (\vec{j}_c), du vecteur ($\overrightarrow{O_c M}$) reliant l'origine (O_c) du repère (R_c) associé à la caméra (25) et le point cible (M), et
 + d'une troisième grandeur (\vec{C}) représentative d'une contribution, selon le troisième axe de caméra (\vec{k}_c), du vecteur reliant le point cible (M) à l'origine du repère associé à la caméra ;
 chacune des première (\vec{A}), deuxième (\vec{B}), et troisième (\vec{C}) grandeurs dépendant de la matrice de rotation (\hat{R}_c) calculée,

- détermination des premier (a'), deuxième (b') et troisième (c') coefficients à partir de la première grandeur (\vec{A}), des quatrième (a_u), cinquième (b_u) et sixième (c_u) coefficients à partir de la deuxième grandeur (\vec{B}), et des septième (a_v), huitième (b_v) et neuvième (c_v) coefficients à partir de troisième grandeur (\vec{C}).

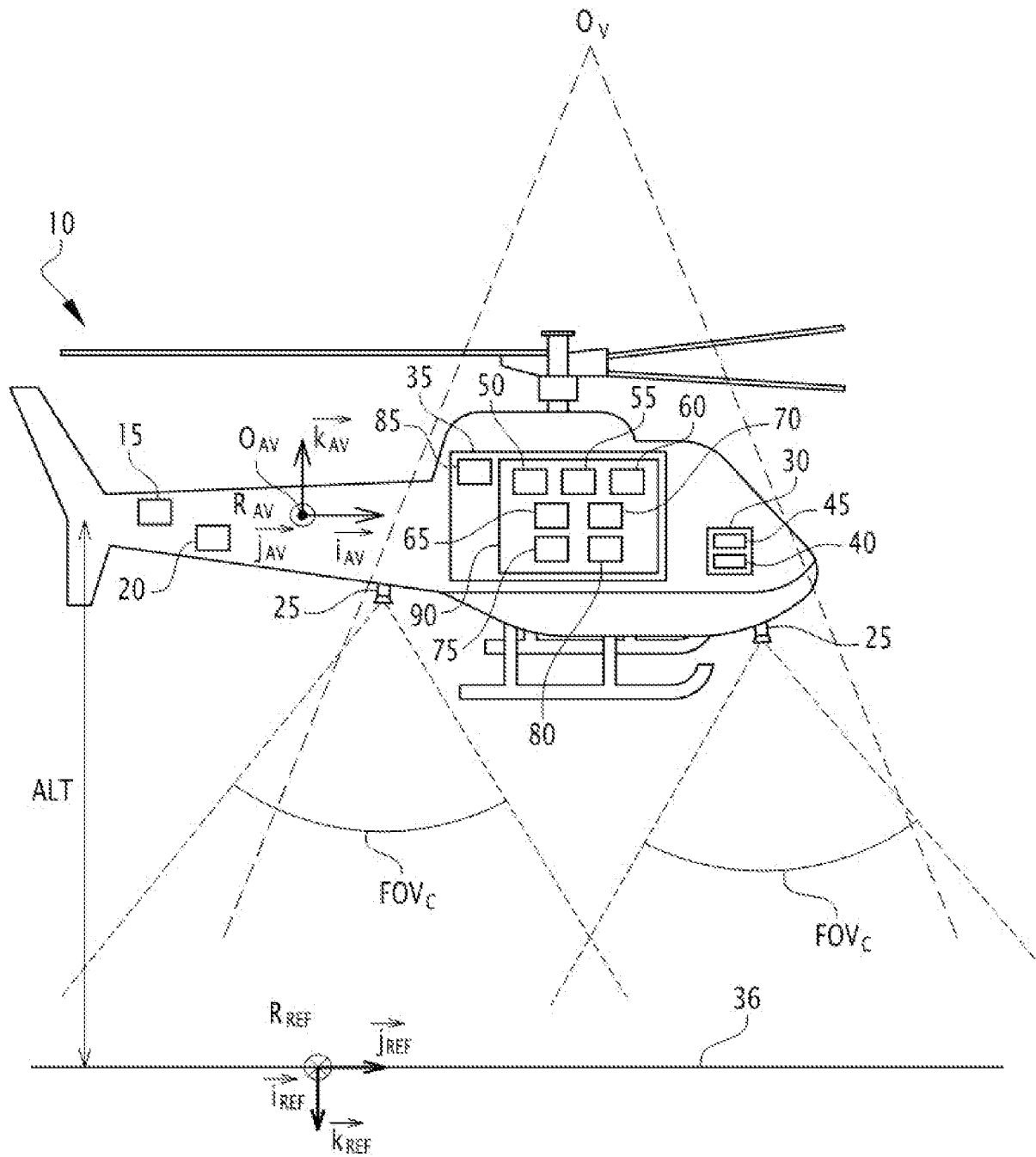
[Revendication 12] Produit programme d'ordinateur comprenant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, mettent en œuvre un procédé (200) selon l'une quelconque des revendications précédentes.

[Revendication 13] Dispositif électronique (35) de génération d'une image périphérique d'un aéronef (10), l'image périphérique comportant une pluralité de pixels obtenus à partir d'une pluralité de caméras (25) équipant l'aéronef (10), le dispositif électronique de génération (35) comprenant :

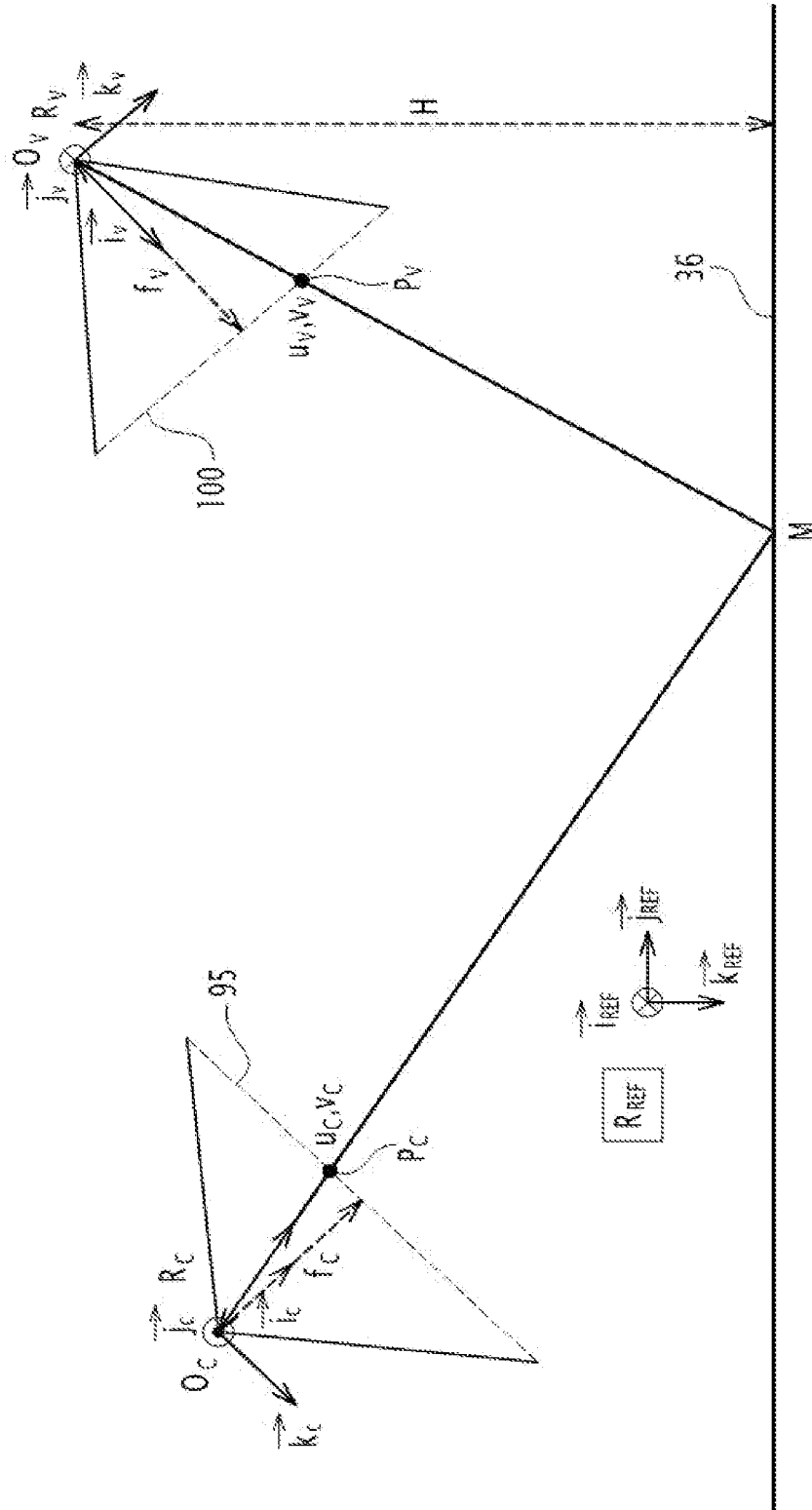
- un module de réception (50) configuré pour recevoir une position d'un point de vue périphérique (O_v) correspondant au point de vue à partir duquel l'image périphérique est à générer,
- un module d'obtention (55) configuré pour obtenir une orientation de l'aéronef (10),
- un module d'acquisition (60) configuré pour acquérir une image respective depuis chaque caméra (25),
- un module de calcul (65) configuré pour calculer une fonction de transfert respective pour chaque caméra (25), chaque fonction de transfert étant destinée à être appliquée à un pixel de l'image périphérique pour identifier un éventuel pixel correspondant dans l'image acquise associée à la fonction de transfert, et
- un module de génération (70) configuré pour générer l'image péri-

phérique à partir des images acquises depuis chaque caméra (25) et de chaque fonction de transfert calculée, dans lequel chaque fonction de transfert associe à la position en abscisse (u_v) et à la position en ordonnée (v_v) d'un pixel de l'image périphérique, la position en abscisse (u_c) et la position en ordonnée (v_c) d'un éventuel pixel correspondant dans l'image acquise associée à la fonction de transfert.

[Fig. 1]



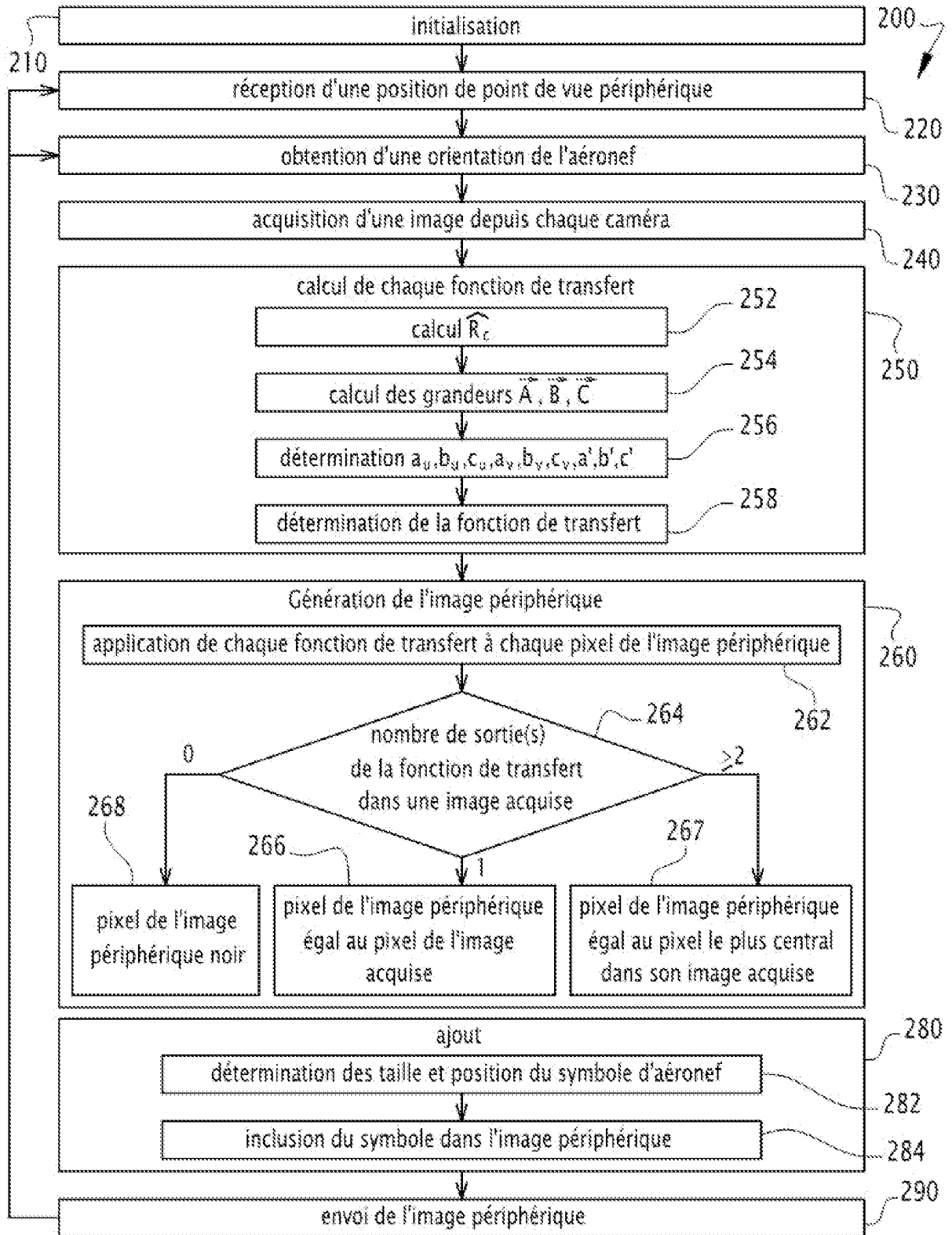
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



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**

CN 110 884 672 A (XIAN INST OF APPLIED
OPTICS) 17 mars 2020 (2020-03-17)

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

US 2009/138138 A1 (FERREN BRAN [US] ET AL)
28 mai 2009 (2009-05-28)

US 2020/312170 A1 (SHERBACK MICHAEL ANDREW
[US] ET AL) 1 octobre 2020 (2020-10-01)

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

NEANT