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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
18 septembre 2014 (18.09.2014)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2014/140129 A1

(51) Classification internationale des brevets : *G06T 7/00* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale : PCT/EP2014/054887

(22) Date de dépôt international : 12 mars 2014 (12.03.2014)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1352175 12 mars 2013 (12.03.2013) FR

(71) Déposant : **CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES** [FR/FR]; 2, place Maurice Quentin, F-75001 Paris (FR).

(72) Inventeurs : **BUIL, Christian**; 6, Place Clémence Isaure, F-31320 Castanet-Tolosan (FR). **DELVIT, Jean-Marc**; 6 bis rue Léon Tolstoï, F-31400 Toulouse (FR).

(74) Mandataire : **REGIMBEAU**; 20, rue de Chazelles, F-75847 Paris Cedex 17 (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))*

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

(54) **Title** : METHOD OF MEASURING THE DIRECTION OF A LINE OF SIGHT OF AN IMAGING DEVICE

(54) **Titre** : PROCÉDÉ DE MESURE DE LA DIRECTION D'UNE LIGNE DE VISÉE D'UN DISPOSITIF D'IMAGERIE

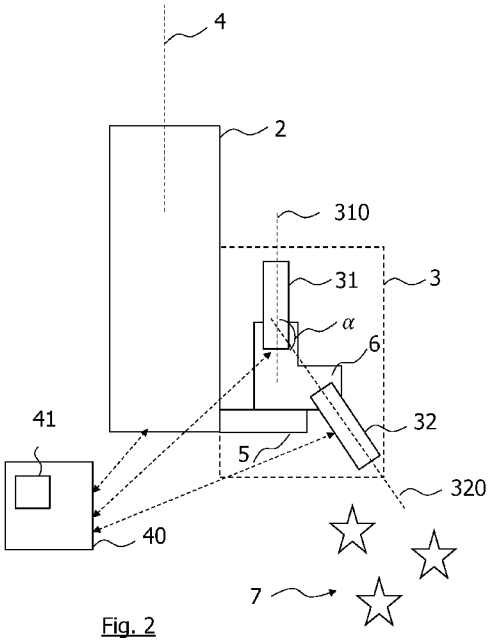


Fig. 2

(57) **Abstract** : The invention relates to a method of measuring the direction of a line of sight of an imaging device of an imager assembly comprising the imaging device adapted to point towards a target zone along said line of sight, the imager assembly comprising at least one super-sensor coupled to said imaging device, the super-sensor comprising a first head adapted for taking a picture of the target zone along a first line of sight in the same direction as the direction of the line of sight of the imaging device; a second head adapted for taking images of stars along a second line of sight, the first and second heads being oriented with respect to one another according to a predetermined angular offset, the method comprising steps consisting in - acquiring a first image by means of the imaging device; - acquiring a second image by means of the first head; - determining at least one offset between the first and second images so as to obtain a relative angular offset between the line of sight of the imaging device and the first line of sight; - deducing from the predetermined angular offset between the first and second heads and from the relative angular offset between the line of sight of the imaging device and the first line of sight the angular offset of the direction of the line of sight of the imaging device with respect to the second head.

(57) **Abrégé** :

[Suite sur la page suivante]

WO 2014/140129 A1

L'invention concerne un procédé de mesure de la direction d'une ligne de visée d'un dispositif d'imagerie d'un ensemble imageur comprenant le dispositif d'imagerie adapté pour pointer vers une zone cible selon ladite ligne de visée, l'ensemble imageur comprenant au moins un super-senseur couplé audit dispositif d'imagerie, le super-senseur comprenant une première tête adaptée pour la prise d'image de la zone cible selon une première ligne de visée dans la même direction que la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie; une seconde tête adaptée pour la prise d'images d'étoiles selon une seconde ligne de visée, les première et seconde têtes étant orientées l'une par rapport à l'autre selon un décalage angulaire prédéterminé, le procédé comprenant des étapes consistant à - acquérir une première image au moyen du dispositif d'imagerie; - acquérir une seconde image au moyen de la première tête; - déterminer au moins un décalage entre les première et seconde images afin d'obtenir un décalage angulaire relatif entre la ligne de visée du dispositif d'imagerie et la première ligne de visée; - déduire du décalage angulaire prédéterminé entre les première et seconde têtes et du décalage angulaire relatif entre la ligne de visée du dispositif d'imagerie et la première ligne de visée le décalage angulaire de la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie par rapport à la deuxième tête.

Procédé de mesure de la direction d'une ligne de visée d'un dispositif d'imagerie

DOMAINE TECHNIQUE GENERAL

L'invention concerne la mesure de la direction d'une ligne de visée d'un dispositif d'imagerie, par exemple monté dans un satellite.

L'invention concerne également des applications quant à la mesure d'une telle ligne de visée : mesure des vibrations mécaniques, traitement d'images prises par le dispositif d'imagerie et contrôle de l'attitude du satellite, géolocalisation des images prisent par le satellite.

ETAT DE LA TECHNIQUE

Dans le domaine spatial, il est connu de contrôler l'attitude des satellites, c'est-à-dire l'orientation des axes du satellite par rapport à un trièdre de référence.

Ces satellites embarquent souvent un dispositif d'imagerie pour notamment observer la Terre ainsi que des senseurs stellaires pour contrôler l'attitude du satellite et donc la ligne de visée du dispositif d'imagerie.

La mesure de la direction d'une ligne de visée (pointage) d'un dispositif d'imagerie en orbite s'appuie donc traditionnellement sur un référentiel stellaire, observé via un ou plusieurs senseur(s) stellaire(s) dédié(s).

Ce type de senseur stellaire est une des composantes du Système de Contrôle d'Attitude et d'Orbite (SCAO) qui permet de contrôler l'attitude du satellite en temps réel.

Les senseurs stellaires sont des caméras électroniques, constituées d'un objectif optique et d'un capteur matriciel, dont le but de prendre des images de zones du ciel. Après analyse de ce champ stellaire, en association avec un catalogue d'étoiles, il est alors possible d'évaluer l'orientation du satellite en valeur absolue dans un référentiel stellaire, puis terrestre et donc de mesurer la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie.

Plusieurs senseurs sont souvent associés pour accroitre la précision ou pour permettre de connaître l'attitude à tout moment alors qu'un des senseurs peut être inopérant, par exemple en étant ébloui par le Soleil.

La précision du senseur stellaire est d'une part liée à sa performance intrinsèque (optimisation de la conception, qualité des algorithmes de traitement des images) mais aussi à la manière dont il est couplé avec le dispositif d'imagerie.

En outre, il est très important que la liaison mécanique entre les senseur(s) stellaires et le dispositif d'imagerie soit conçue pour que les informations données par le SCAO s'appliquent effectivement à la direction de la ligne de visée réelle du dispositif d'imagerie.

Pour ce faire, les senseurs sont souvent physiquement liés mécaniquement à la structure principale portant le miroir primaire du miroir principal dans le cas d'un télescope.

L'exigence en précision de localisation de l'axe de visée du dispositif d'imagerie augmente avec la résolution spatiale de dernier. Par exemple, pour un dispositif embarqué sur un satellite en orbite basse (typiquement 800 km) ayant une résolution au sol de quelques dizaines de centimètres, la demande de localisation de la scène prise peut se traduire par une restitution angulaire de la ligne de visée de l'ordre du microradian.

En outre, la tendance actuelle est aussi d'exploiter de très gros télescopes d'observations, dont le miroir principal peut avoir une taille métrique en diamètre. La masse embarquée sur un satellite étant limitée, la structure mécanique de ces télescopes est étudiée pour optimiser ce poste. De même, les miroirs sont souvent conçus pour être fortement allégés et associés avec des systèmes de corrections actifs de la surface d'onde.

Ces leviers pour réduire la masse, peuvent avoir pour effet de diminuer la rigidité du couplage angulaire du télescope et des senseurs stellaires, ce donc d'accroitre l'incertitude du système SCAO pour la ligne de visée.

PRESENTATION DE L'INVENTION

L'invention propose de pallier au moins un de ces inconvénients.

L'invention propose selon un premier aspect un procédé de mesure de la direction d'une ligne de visée d'un dispositif d'imagerie d'un ensemble imageur comprenant le dispositif d'imagerie adapté pour pointer vers une zone cible selon ladite ligne de visée, l'ensemble imageur comprenant au moins un super-senseur

couplé audit dispositif d'imagerie, le super-senseur comprenant une première tête adaptée pour la prise d'image de la zone cible selon une première ligne de visée dans la même direction que la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie ; une seconde tête adaptée pour la prise d'images d'étoiles selon une seconde ligne de visée, les première et seconde têtes étant orientées l'une par rapport à l'autre selon un décalage angulaire prédéterminé, le procédé comprenant des étapes consistant à

- acquérir une première image au moyen du dispositif d'imagerie ;
- acquérir une seconde image au moyen de la première tête ;
- déterminer au moins un décalage entre les première et seconde images afin d'obtenir un décalage angulaire relatif entre la ligne de visée du dispositif d'imagerie et la première ligne de visée ;
- déduire du décalage angulaire prédéterminé entre les première et seconde têtes et du décalage angulaire relatif entre la ligne de visée du dispositif d'imagerie et la première ligne de visée le décalage angulaire de la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie par rapport à la deuxième tête.

L'invention est avantageusement complétée par les caractéristiques suivantes, prises seules ou en une quelconque de leur combinaison techniquement possible :

- l'acquisition de la seconde image est effectuée selon un champ angulaire supérieur au champ angulaire selon lequel la première image est acquise ;

- la résolution angulaire de la première tête du super-senseur est inférieure de un à deux ordres de grandeurs relativement à celle du dispositif d'imagerie ;

- les étapes d'acquisitions des première et seconde images sont mises en œuvres simultanément ;

- l'étape de détermination est une corrélation numérique entre les première et seconde images.

L'invention concerne selon un second aspect, un procédé de mesure de déformations dynamiques et statiques d'un dispositif d'imagerie comprenant une étape consistant à déduire du décalage angulaire de la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie par rapport à la deuxième tête obtenue par l'intermédiaire du procédé selon le premier aspect de l'invention, des vibrations

subies par le dispositif d'imagerie ou des déformations thermo-élastiques statiques de ce dispositif.

L'invention concerne selon un troisième aspect, un procédé de localisation d'une image acquise au moyen d'un dispositif d'imagerie comprenant une étape consistant à déduire du décalage angulaire de la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie par rapport à la deuxième tête obtenue par l'intermédiaire du procédé selon le premier aspect de l'invention, la localisation de l'image dans un référentiel absolu.

L'invention concerne selon un quatrième aspect, un super-senseur adapté pour être couplé à un dispositif d'imagerie adapté pour pointer vers une zone cible selon une ligne de visée, le senseur comprenant

- une première tête adaptée pour la prise d'image de la zone cible selon une première direction de visée dans la même direction que la direction de la ligne de visée ;
- une seconde tête adaptée pour la prise d'images d'étoiles selon une seconde direction de visée ;

les première et seconde têtes étant couplées l'une à l'autre selon un décalage angulaire prédéterminé le couplage étant tel que ledit décalage angulaire prédéterminé soit constant indépendamment d'un déplacement dudit super-senseur, ledit super-senseur étant adapté pour être mis en œuvre dans le cadre d'un procédé selon le premier aspect de l'invention.

Le super-senseur selon le quatrième aspect de l'invention comprend une platine sur laquelle sont montées les première et seconde têtes optiques, les première et seconde têtes étant couplées rigidement l'une à l'autre.

L'invention concerne selon un cinquième aspect, un ensemble imageur comprenant :

- un dispositif d'imagerie adapté pour pointer vers une zone cible selon une ligne de visée ;
- un super-senseur selon le quatrième aspect de l'invention couplé au couplé audit dispositif d'imagerie.

L'invention concerne selon un sixième aspect un satellite comprenant un ensemble imageur selon le cinquième aspect de l'invention.

L'invention repose ainsi sur un double rattachement :

- le rattachement angulaire entre la direction de visée de la seconde tête optique adaptée pour la prise d'images étoiles et une direction de visée de la première tête optique adaptée pour pointer dans la même direction que le dispositif d'imagerie par un couplage optimisé ; et
- le rattachement entre la direction de visée de première tête optique et du dispositif d'imagerie au travers d'une opération de corrélation via un algorithme optimisé.

En fusionnant ces deux rattachements élémentaires, le rattachement entre la direction visée du dispositif d'imagerie et le système absolue stellaire est assuré. Cette fonction est garantie même si le super-senseur et le dispositif d'imagerie ne sont pas liés de manière super-rigide, ce qui autorise l'usage de structure et interfaces allégés et/ou la mise en œuvre des techniques de l'optique active.

L'invention permet de dé-contraindre les exigences d'interface entre le dispositif d'imagerie principal et le super-senseur comprenant les première et seconde têtes optiques. Ainsi, ces derniers peuvent être couplés de manière « souple » par rapport au dispositif d'imagerie ce qui permet de concevoir des ensembles imageurs (des télescopes notamment) à structure allégée et/ou actifs tout en rendant possible la géolocalisation haute précision des images acquises pour un coût modeste.

En outre, l'invention permet de lever le verrou des erreurs de lignes de visées (biais) dans les systèmes à optique active, non restituable par le SCAO traditionnel.

PRESENTATION DES FIGURES

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 illustre un satellite selon un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 illustre un ensemble imageur selon un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 illustre schématiquement des modes de réalisation d'un procédé selon l'invention ;

- la figure 4 illustre schématiquement des d'images acquises au cours d'un procédé de l'invention ;

Sur l'ensemble des figures, les éléments similaires portent des références identiques.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

On a illustré sur la **figure 1** un satellite 1 comprenant ensemble imageur comprenant un dispositif d'imagerie 2 et au moins super-senseur 3 (sur cette figure deux super-senseurs 3 sont illustrés mais l'homme du métier peut comprendre que l'on peut envisager un nombre plus élevé de super-senseurs ou bien un seul super-senseur 3).

On précise ici que l'on entend par super-senseur 3 un ensemble composé de deux senseurs dont l'un est un senseur stellaire.

Le dispositif d'imagerie 2 présente une ligne de visée 4 correspondant à une direction dans l'espace vers laquelle le dispositif 2 pointe et constitue une ligne de référence du dispositif pour caractériser sa direction de pointage.

Le dispositif d'imagerie 2 est adapté pour la prise d'images d'une zone cible notamment d'images de la Terre.

Le super-senseur 3 est couplé au dispositif d'imagerie 2 par l'intermédiaire d'une liaison 5. La liaison 5 est une liaison semi-rigide (c'est-à-dire une liaison qui n'a pas besoin d'être rigide).

On a illustré sur la **figure 2** un ensemble imageur comprenant un dispositif d'imagerie 2 et un super-senseur 3.

Le super-senseur 3 comprend une première tête optique 31 et une seconde tête optique 32. La première tête optique 31 comprend une première direction de visée 310 et la seconde tête optique 32 comprend une seconde direction de visée 320.

La première tête optique 31 est adaptée pour la prise d'images dans la même direction que la direction de la ligne de visée 4 du dispositif d'imagerie 2. Ainsi la première tête optique 31 est en particulier adaptée pour la prise d'image Terre dans le cas où le dispositif d'imagerie 2 pointe vers la Terre on parle alors de senseur Terre.

La seconde tête optique 32 est adaptée pour la prise d'images étoiles 7 (senseur stellaire).

Les première et seconde têtes 31, 32 sont couplées l'une à l'autre selon une orientation α. En d'autres termes, les directions de visée de chacune des têtes sont disposées l'une par rapport à l'autre selon un décalage angulaire prédéterminé α.

De manière avantageuse, les première et seconde têtes 31, 32 sont couplées l'une à l'autre de sorte que le décalage angulaire prédéterminé α soit toujours constant indépendamment du mouvement du dispositif d'imagerie 2 tandis que le couplage du super-senseur 3 avec le dispositif d'imagerie 2 est tel que l'on peut tolérer un mouvement relatif du super-senseur 3 par rapport au dispositif d'imagerie 2.

De préférence, les première et seconde têtes 31, 32 sont montées sur une platine 6 qui confère une liaison super-rigide entre la première tête 31 et la seconde tête 32 tandis que la liaison 5 du super-senseur 3 avec le dispositif d'imagerie 2 est non super-rigide. On précise que l'on entend par « liaison super-rigide » une liaison angulaire qui n'autorise aucune variation angulaire entre la première tête 31 et la seconde tête 32 ce qui est d'un niveau supérieur à une simple liaison mécanique.

La platine 6 est choisie pour conférer une liaison super-rigide entre les première et seconde têtes 31, 32.

Le dispositif d'imagerie 2, les première et seconde têtes 31, 32 du super-senseur 3 sont en liaisons avec une unité de traitement 40 configurée pour mettre en œuvre divers traitement des images acquises par le dispositif d'imagerie 2 et les têtes optiques 31, 32 du super-senseur 3 comme on le détaillera ci-après.

L'unité de traitement 40 peut être embarquée à bord de l'ensemble imageur ou bien être située dans une station de traitement au sol (non représentée).

Par l'intermédiaire du super-senseur 3 couplé au dispositif d'imagerie 2 il est possible de mesurer la direction de la ligne de visée 3 du dispositif d'imagerie 2 selon un procédé ci-dessous décrit.

On a illustré sur la **figure 3** un procédé de mesure de la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie conforme à un mode de réalisation de l'invention. Un tel procédé est mis en œuvre dans l'unité de traitement 40.

Le procédé de mesure de la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie 2 comprend dans une première étape E1, l'acquisition d'une première image de la zone cible au moyen du dispositif d'imagerie 2.

Dans une seconde étape E2, on acquiert une seconde image au moyen de la première tête. Cette seconde image est une image de la zone cible.

Dans une troisième étape E3, on met en œuvre une opération de corrélation entre la première image et la seconde image afin d'obtenir au moins un décalage entre les deux images pour en déduire un décalage angulaire relatif α' entre la ligne de visée 4 du dispositif d'imagerie 2 et la première direction de visée 310 de la première tête optique 31 du super-senseur 3.

Le ou les décalage(s) entre les première et seconde images est par exemple représentatif d'un mouvement de lacet et/ou tangage et/ou roulis entre le dispositif d'imagerie et la première tête 31 du super-senseur 3.

A l'issue de la troisième étape E3 on dispose d'une part du décalage angulaire α prédéterminé entre les première et seconde têtes optiques 31, 32 du super-senseur 3 et d'autre part du décalage angulaire α' entre la ligne de visée 4 du dispositif d'imagerie 2 et de la première direction de visée 310 de la première tête optique 31.

Par conséquent grâce à ces deux décalages on peut déduire dans une quatrième étape E4 le décalage relatif entre la seconde direction de visée 320 de la seconde tête optique 32 du super-senseur 3 et de la direction de la ligne de visée 4 du dispositif d'imagerie 2.

Ainsi, comme la deuxième tête optique 32 est adaptée pour la prise d'images étoiles 7, en comparant dans une cinquième étape E5 avec un catalogue d'étoiles, stocké dans une mémoire 41 de l'unité de traitement 40, l'image d'étoiles permet de déduire la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie 2 dans un repère fixe dont on connait la position.

De manière avantageuse, l'acquisition E1 de la seconde image est effectuée selon un champ angulaire supérieur au champ angulaire selon lequel la première image est acquise E2 de manière à ce que l'image acquise par le

dispositif d'imagerie soit incluse dans l'image acquise par la première tête du senseur 3. On a illustré sur la **figure 4**, l'image I1 acquise par le dispositif d'imagerie 2 et l'image I2 acquise par la première tête optique 31 du super-senseur 3.

Ainsi, la première tête optique 31 du super-senseur 3 est une caméra qui permet d'acquérir une image matricielle instantanée (en anglais, « *snapshot* ») de la zone cible par exemple la Terre, avec une couverture angulaire instantanée proche du champ angulaire typique opérationnel du dispositif d'imagerie 2. En revanche, la résolution angulaire de la première tête 31 du super-senseur 3 est inférieure de un à deux ordres de grandeurs relativement à celle du dispositif d'imagerie 2. De cette façon, la première tête optique 31 peut être une caméra compacte et donc de petite taille ce qui permet d'alléger la structure du super-senseur 3.

Comme on peut le comprendre la première tête optique 31 du super-senseur 3 agit comme un système de surveillance de la prise d'images par le dispositif d'imagerie 2.

De manière avantageuse, on choisit la première tête optique de manière telle que la résolution angulaire de la première tête optique soit entre 10 à 100 fois inférieure à la résolution angulaire du dispositif d'imagerie 2.

A titre d'exemple non limitatif, on choisit la première tête optique pour que le pas d'échantillonnage de la première tête optique soit de 10 m avec une FTM à fe/2 de l'ordre de 0,1 et une focale de 385 mm avec des pixels de 5,5 microns et un champ angulaire de 40 km.

En outre, on choisit la seconde tête optique comme étant un senseur stellaire classique dont la précision angulaire propre est choisie en fonction de la mission.

Le procédé ci-dessus décrit connait de nombreuses applications.

Il est notamment possible de mesurer des vibrations mécaniques subies par le dispositif d'imagerie 2 afin de les compenser dans le cadre d'un procédé de mesure des vibrations mécaniques d'un dispositif d'imagerie.

Ce procédé comprend notamment une étape consistant à déduire de l'orientation de la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie par rapport à la deuxième tête obtenue par l'intermédiaire du procédé de mesure de

la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie 2 ci-dessus décrit des distorsions, temporelles et instrumentales (i.e. géométriques et/ou optiques) subies par le dispositif d'imagerie, telle que des vibrations.

Selon une première étape dite de « mise en géométrie » d'un procédé de mesure des vibrations mécaniques d'un dispositif d'imagerie, on choisit l'image acquise par la première tête optique comme référence, une image de la mission est dite alors une image seconde que l'on va vouloir superposer à l'image de référence (au sens géométrique). On utilise alors des modèles géométrique de l'image de référence et de l'image secondaire, afin d'exploiter toutes la connaissance délivrée par le système (attitudes existantes, cartographie du plan focal existant, etc.). Les images de référence et secondaires sont alors quasi-superposables. Les seules différences proviennent d'un biais résiduels entre le dispositif d'imagerie et le senseur Terre, de la méconnaissance du plan focal et des erreurs d'attitudes résiduelles (non restituées par le Système de Commande d'Attitude et d'Orbite SCAO).

Selon une seconde étape dite de « corrélation dense » d'un procédé de mesure des vibrations mécaniques d'un dispositif d'imagerie ou de ses déformés statiques, l'image secondaire et l'image de référence sont corrélées. Les biais d'attitude en roulis et tangage se traduisent par des décalages moyens en colonne et ligne de la nappe de disparité. Le biais en lacet se traduit par une pente sur la ligne moyenne des décalages en ligne. Le grandissement se traduit par une pente sur la ligne moyenne des décalages en colonnes. Les lignes de la nappe de disparité résultante comportent des informations sur la cartographie du plan focal du dispositif d'imagerie, tandis que les colonnes de la nappe de disparité correspondent à des informations relatives aux résidus d'attitudes du dispositif d'imagerie non restitué par le SCAO.

Selon une troisième étape dite de « Statistiques », d'un procédé de mesure des vibrations mécaniques d'un dispositif d'imagerie on vient estimer la cartographie du plan focal et éventuellement les résidus d'attitude de chaque prise de vue du dispositif d'imagerie.

Selon un premier mode de réalisation, on calcule une ligne moyenne et une colonne moyenne sur la nappe de disparité résultant de l'étape de « corrélation dense ». Dans ce premier mode de réalisation, le procédé mesure des vibrations

mécaniques d'un dispositif d'imagerie comprend ainsi le moyennage d'une ligne et d'une colonne de la matrice obtenue par la corrélation de l'image de référence et de l'image secondaire pour estimer le décalage de la direction de visée d'un capteur parallèlement et perpendiculairement à la trace du dispositif d'imagerie pour la ligne et un résidu d'attitude pour la colonne.

A titre d'exemple, des décalages des directions de visée des capteurs de la barrette peuvent alors être modélisés sous forme de polynômes, par exemple en mettant en œuvre un ajustement selon la méthode des moindres carrés.

Selon un second mode de réalisation, on met en œuvre un ajustement bidimensionnel, selon la méthode des moindres carrés, de la matrice obtenue par la corrélation de l'image de référence et de l'image secondaire pour modéliser sous forme de polynômes ou d'autres fonctions les décalages des directions de visée des capteurs de la barrette parallèlement et perpendiculairement à la trace du satellite. On retiendra que la solution conforme au premier mode de réalisation fondée sur le moyennage des lignes et colonnes présente l'avantage d'être simple à mettre en œuvre.

Selon un troisième mode de réalisation, on met en œuvre une spatiotriangulation entre la première tête optique (considérée comme la référence) et le dispositif d'imagerie. Cette spatiotriangulation permet à partir d'un ensemble de points homologues de déterminer à minima les biais relatifs entre le repère mission et le repère de de la seconde tête optique c'est-à-dire du senseur terre et donc du senseur étoile.

Grâce à ce procédé, on peut compenser des vibrations d'amplitudes de quelques dizaines de nanoradians.

En outre, grâce à l'orientation de la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie par rapport à la deuxième tête obtenue par l'intermédiaire du procédé de mesure de la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie 2 ci-dessus décrit, il est possible de déterminer la localisation des images acquises par le dispositif d'imagerie 2 dans le cadre d'un procédé de localisation d'une image acquise par le dispositif d'imagerie 2.

Ce procédé comprend notamment une étape E6 consistant à déduire de l'orientation de la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie par rapport à la deuxième tête obtenue par l'intermédiaire du procédé de mesure de

la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie 2 ci-dessus décrit, la localisation de l'image dans un repère absolu puisque dépendant de la position des étoiles.

Dans le cas où l'ensemble imageur comprend plusieurs super-senseurs, on peut améliorer le repère moyen des senseurs stellaires, en utilisant des modèles géométriques du senseur Terre lié au senseur stellaire. Chacun des senseurs terre voit le même paysage au sol, on peut donc affiner l'ensemble des modèles physique des senseurs Terre et déterminer les repères optimaux de ces senseurs terres (et donc des senseurs stellaires) à chaque prise de vue. Le modèle physique de ces senseurs Terre est imparfait, du fait de l'imprécision des paramètres de prise de vue P_k^0 fournis par le système notamment les biais - un biais en roulis, tangage et lacet est systématiquement estimé.

Pour améliorer le modèle on effectue une spatiotriangulation décrite ci-après, on utilise alors des points homologues, que l'on appelle aussi points de liaison, qui sont des points de coordonnées planimétriques inconnues mais de coordonnées image connues sur au moins deux images (même détail terrain vu sur plusieurs images) ; ces points sont utilisés quand on recale plusieurs images simultanément, ils permettent d'assurer le recalage relatif entre ces images.

L'idée est de calculer des points homologues entre toutes les images issues de tous les senseurs terre de l'ensemble imageur.

L'amélioration du modèle géométrique de prise de vue grâce à ces points homologues est obtenue par estimation de la valeur réelle $\mathrm{P_k}$ des paramètres de prise de vue, ou de certains d'entre eux. On parle alors d'affinage ou de recalage du modèle. Le principe de ce calcul est le suivant :

- on introduit des inconnues dP_k sur la valeur de certains paramètres de prise de vue $\mathrm{P_k^0}$ fournis par le système ; ces inconnues sont appelées paramètres de recalage du modèle ; ce sont elles que l'on va chercher à estimer ;
- les points homologues permettent d'établir les équations suivantes :

pour un point homologue j de coordonnées image (l_j, p_j) sur l'image 1, de coordonnées image (l'_j, p'_j) sur l'image 2 et d'altitude terrain h_j (cette altitude est optionnelle elle sera estimée) :

$$\begin{cases} F_x(l_j, p_j, h_j, P_1, ..., P_k, ..., P_n) = F'_x(l'_j, p'_j, h_j, P'_1, ..., P'_k, ..., P'_n) \\ F_y(l_j, p_j, h_j, P_1, ..., P_k, ..., P_n) = F'_y(l'_j, p'_j, h_j, P'_1, ..., P'_k, ..., P'_n) \end{cases}$$

avec F, modèle direct de l'image 1 et F', modèle direct de l'image 2 ; on obtient ainsi un système d'équations qu'il faut linéariser puis résoudre en utilisant la méthode des moindres carrés ; la résolution de ce système pour l'ensemble des senseurs terre nous fournit les valeurs des inconnues dP_k et donc d'optimiser les repères des senseurs stellaire.

REVENDICATIONS

1. Procédé de mesure de la direction d'une ligne de visée d'un dispositif d'imagerie (2) d'un ensemble imageur comprenant le dispositif d'imagerie (2) adapté pour pointer vers une zone cible selon ladite ligne de visée, l'ensemble imageur comprenant au moins un super-senseur (3) couplé audit dispositif d'imagerie (2), le super-senseur (3) comprenant une première tête (31) adaptée pour la prise d'image de la zone cible selon une première ligne de visée (310) dans la même direction que la direction de la ligne de visée (4) du dispositif d'imagerie (2) ; une seconde tête (32) adaptée pour la prise d'images d'étoiles selon une seconde ligne de visée (320), les première et seconde têtes étant orientées l'une par rapport à l'autre selon un décalage angulaire prédéterminé (α),

le procédé comprenant des étapes consistant à

- acquérir (E1) une première image au moyen du dispositif d'imagerie (2),
- acquérir (E2) une seconde image au moyen de la première tête (31) ;
- déterminer (E3) au moins un décalage entre les première et seconde images afin d'obtenir un décalage angulaire relatif entre la ligne de visée du dispositif d'imagerie et la première ligne de visée ;
- déduire (E4) du décalage angulaire prédéterminé (α) entre les première et seconde têtes et du décalage angulaire relatif entre la ligne de visée du dispositif d'imagerie et la première ligne de visée le décalage angulaire de la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie par rapport à la deuxième tête.

2. Procédé de mesure selon la revendication 1, dans lequel l'acquisition (E1) de la seconde image est effectuée selon un champ angulaire supérieur au champ angulaire selon lequel la première image est acquise (E2).

3. Procédé de mesure selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la résolution angulaire de la première tête (31) du super-senseur (3) est inférieure de un à deux ordres de grandeurs relativement à celle du dispositif d'imagerie (2).

4. Procédé de mesure selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les étapes d'acquisitions (E1, E2) des première et seconde images sont mises en œuvres simultanément.

5. Procédé de mesure selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape de détermination (E3) est une corrélation numérique entre les première et seconde images.

6. Procédé de mesure de déformations dynamiques et statiques d'un dispositif d'imagerie (2) comprenant une étape (E5) consistant à déduire du décalage angulaire de la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie par rapport à la deuxième tête obtenue par l'intermédiaire du procédé selon l'une des revendications précédentes, des vibrations subies par le dispositif d'imagerie ou des déformations thermo-élastiques statiques de ce dispositif.

7. Procédé de localisation d'une image acquise au moyen d'un dispositif d'imagerie (2) comprenant une étape (E6) consistant à déduire du décalage angulaire de la direction de la ligne de visée du dispositif d'imagerie par rapport à la deuxième tête obtenue par l'intermédiaire du procédé selon l'une des revendications 1 à 5, la localisation de l'image dans un référentiel absolu.

8. Super-senseur adapté pour être couplé à un dispositif d'imagerie adapté pour pointer vers une zone cible selon une ligne de visée, le senseur comprenant

- une première tête (31) adaptée pour la prise d'image de la zone cible selon une première direction de visée (310) dans la même direction que la direction de la ligne de visée (4) du dispositif d'imagerie (2) ;
- une seconde tête (32) adaptée pour la prise d'images d'étoiles selon une seconde direction de visée (320) ;

les première et seconde têtes étant couplées l'une à l'autre selon un décalage angulaire prédéterminé (α) le couplage étant tel que ledit décalage angulaire prédéterminé soit constant indépendamment d'un déplacement dudit super-senseur (3), ledit super-senseur (3) étant adapté pour être mis en œuvre dans le cadre d'un procédé selon les revendications 1 à 5.

9. Super-senseur selon la revendication précédente, comprenant une platine (6) sur laquelle sont montées les première et seconde têtes optiques (31, 32), les première et seconde têtes étant couplées rigidement l'une à l'autre.

10. Ensemble imageur comprenant :

- un dispositif d'imagerie adapté pour pointer vers une zone cible selon une ligne de visée ;
- un super-senseur selon l'une des revendications 8 à 9 couplé au couplé audit dispositif d'imagerie.

11. Satellite comprenant un ensemble imageur selon la revendication précédente.

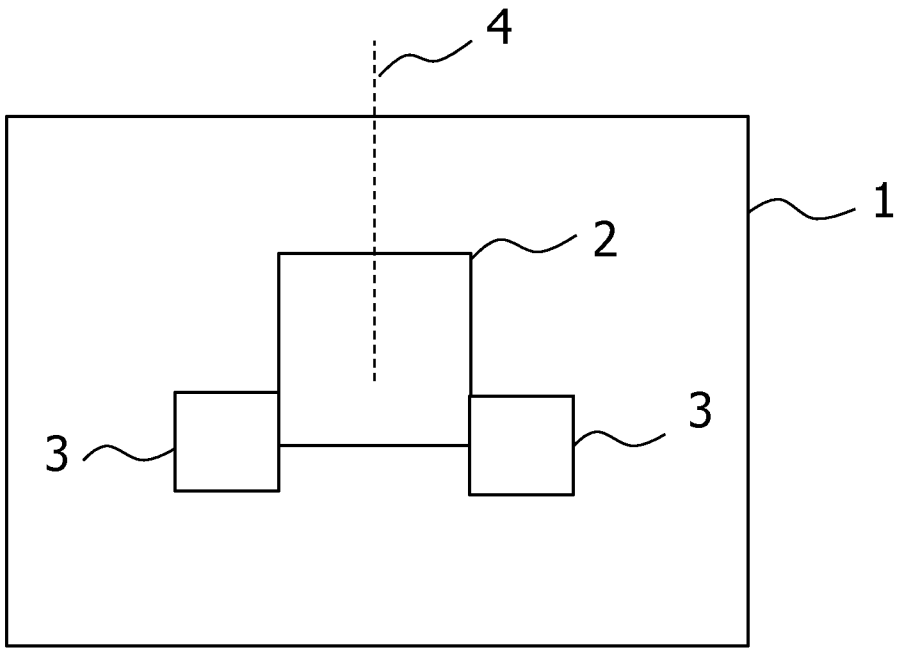


Fig. 1

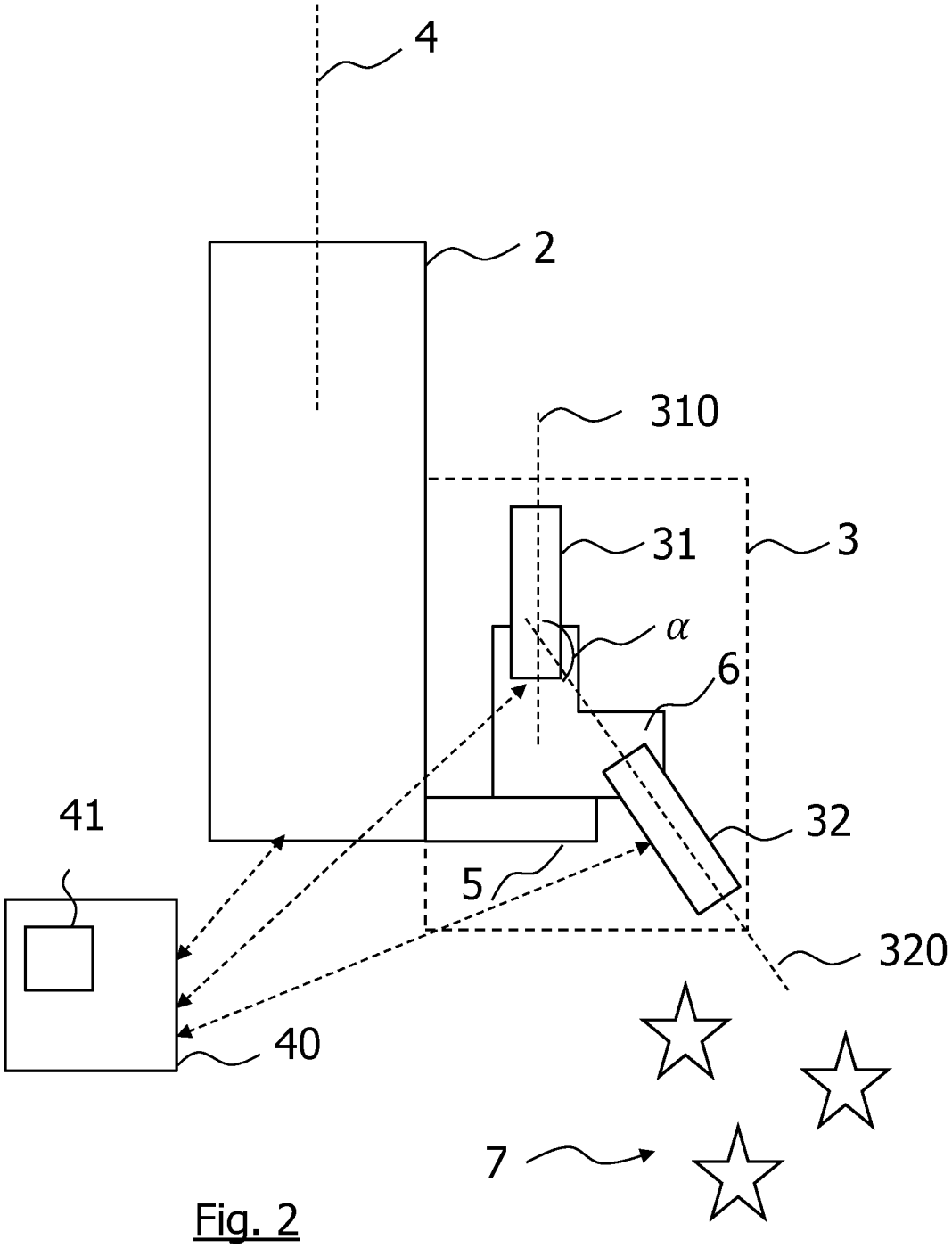


Fig. 2

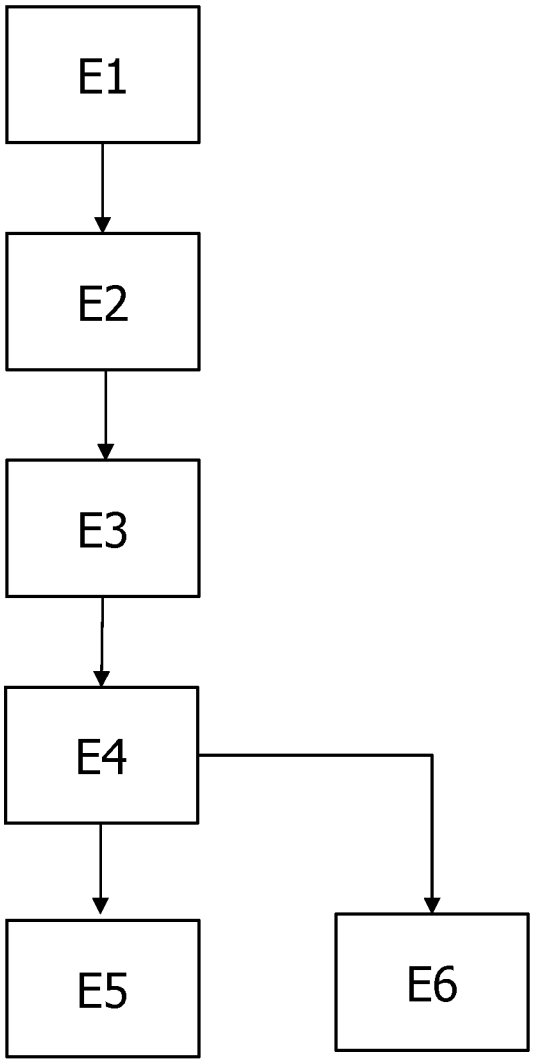


Fig. 3

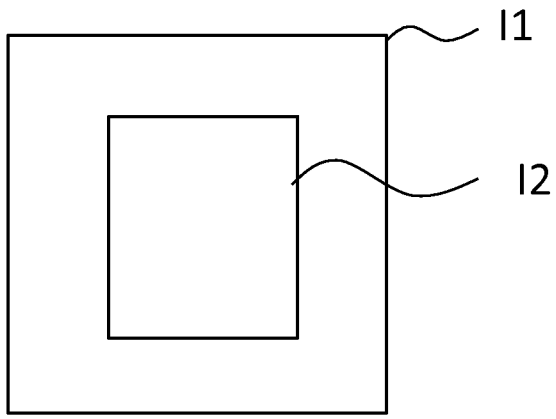


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/054887

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G06T7/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2 495 531 A1 (CENTRE NAT ETD SPATIALES [FR]) 5 September 2012 (2012-09-05) abstract paragraph [0006] - paragraph [0009] paragraph [0043] - paragraph [0051] paragraph [0073] - paragraph [0075] paragraph [0085] -----	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
9 May 2014	19/05/2014

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Millet, Christophe

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2014/054887

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2495531 A1	05-09-2012	EP 2495531 A1	05-09-2012
		FR 2972250 A1	07-09-2012

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2014/054887

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G06T7/00
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
G06T

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 2 495 531 A1 (CENTRE NAT ETD SPATIALES [FR]) 5 septembre 2012 (2012-09-05) abrégé alinéa [0006] - alinéa [0009] alinéa [0043] - alinéa [0051] alinéa [0073] - alinéa [0075] alinéa [0085] -----	1-11

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
9 mai 2014	19/05/2014

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Millet, Christophe

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2014/054887

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2495531 A1	05-09-2012	EP 2495531 A1	05-09-2012
		FR 2972250 A1	07-09-2012