

(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
09 janvier 2025 (09.01.2025)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2025/008599 A1

(51) Classification internationale des brevets :

G06V 10/62 (2022.01) G06V 20/52 (2022.01)
G06T 7/20 (2017.01) B64G 3/00 (2006.01)
G06V 10/82 (2022.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2024/050918

(22) Date de dépôt international :

05 juillet 2024 (05.07.2024)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

FR2307195 06 juillet 2023 (06.07.2023) FR

(71) Déposant : **ARIANEGROUP SAS** [FR/FR] ; 51-61 route
de Verneuil, 78130 LES MUREAUX (FR).

(72) Inventeurs : **EYHERAMONO, Gaëtan** ; 162 avenue
Montaigne, Appt 006, 33160 Saint-Médard en Jalles (FR).
LEMIESZ, Valentin ; c/o ArianeGroup Site d'Issac Rue du
Général Niox, 33160 Saint-Médard en Jalles (FR).

(74) Mandataire : **DELUMEAU, François** et al. ; CABINET
BEAU DE LOMENIE, 158 Rue de l'Université, 75340
PARIS CEDEX 07 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

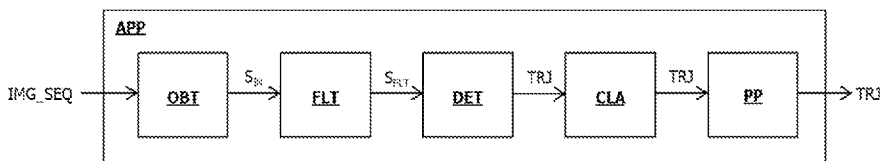
Publiée:

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

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR TRACKING SATELLITES IN AN IMAGE SEQUENCE

(54) Titre : PROCÉDE ET DISPOSITIF DE SUIVI DE SATELLITES DANS UNE SEQUENCE D'IMAGES

[Fig. 2]



(57) Abstract: The present invention relates to a method and a device (APP) for tracking satellites in an image sequence (IMG_SEQ). In particular, the method comprises: - a step of obtaining a set of measurements (SIN) associated with space objects observed in the images of the sequence (IMG_SEQ), each measurement comprising a position of an object in an image and a time index of the image; - a step of detecting satellite trajectories (TRJ) in the image sequence (IMG_SEQ) by means of a detector (DET) comprising at least one neural network and using all or part of the obtained set of measurements (SIN); and - a step of classifying the detected satellite trajectories (TRJ) by means of a classifier (CLA) comprising at least one other neural network.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé et dispositif (APP) de suivi de satellites dans une séquence d'images (IMG_SEQ). En particulier, le procédé comprend : - une étape d'obtention d'un ensemble de mesures (SIN) associées à des objets spatiaux observés dans les images de la séquence (IMG_SEQ), chaque mesure comprenant une position d'un objet dans une image et un indice temporel de l'image; - une étape de détection de trajectoires de satellites (TRJ) dans la séquence d'images (IMG_SEQ), par un détecteur (DET) comprenant au moins un réseau de neurones et utilisant tout ou partie de l'ensemble de mesures obtenu (SIN); et - une étape de classification des trajectoires de satellites détectées (TRJ), par un classifieur (CLA) comprenant au moins un autre réseau de neurones.

WO 2025/008599 A1

Description

Titre : Procédé et dispositif de suivi de satellites dans une séquence d'images

5 Domaine technique

[0001] La présente invention se rapporte aux domaines de l'analyse d'images et du suivi d'objets. En particulier, la présente invention concerne un procédé et un dispositif de suivi de satellites dans une séquence d'images, ainsi qu'un système de surveillance, un programme d'ordinateur et un support d'informations associés. La présente invention trouve une application particulièrement
10 avantageuse, bien que nullement limitative, pour la mise en œuvre de systèmes de surveillance de l'espace.

Technique antérieure

[0002] L'invention s'inscrit dans le contexte particulier des systèmes de surveillance de l'espace extra-
15 atmosphérique. De tels systèmes ont pour objectif de localiser les satellites en orbite et de fournir leurs trajectoires respectives. À cet effet, ces systèmes exploitent des capteurs optiques pour capturer des images des satellites en orbite autour de la Terre. Cependant, ces images comprennent à la fois des satellites, des étoiles, et du bruit (e.g. des pixels chauds).

[0003] Aussi, nous nous intéressons ci-après aux systèmes de surveillance capable d'extraire les
20 trajectoires des différents satellites observés dans une séquence d'images. Autrement dit, ces systèmes visent à fournir en sortie un ensemble de mesures associées à un même satellite pour décrire sa trajectoire au cours du temps, c'est-à-dire un ensemble de coordonnées tridimensionnelles associées à ce satellite (positions spatiales x et y, et indice temporel).

[0004] Dans l'état actuel de la technique, il existe des solutions analytiques pour suivre des satellites
25 au sein d'une séquence d'images. Ces solutions analytiques exploitent les distances entre les mesures associées aux objets spatiaux observés pour extraire les trajectoires des satellites et détecter les différents types de trajectoires (e.g. géostationnaire, défilantes).

[0005] Toutefois, les solutions existantes de suivi de satellites présentent un certain nombre
30 d'inconvénients et notamment les suivants. D'une part, ces solutions analytiques impliquent une complexité de mise en œuvre élevée, qui nécessite la configuration manuelle d'une multitude de paramètres et une utilisation importante de ressources informatiques (i.e. des temps d'exécution importants). D'autre part, la fiabilité de ces solutions, en termes de trajectoires correctement détectées, n'est pas pleinement satisfaisante.

[0006] Il existe par conséquent un besoin pour une solution permettant de suivre des satellites dans
35 une séquence d'images de manière fiable et avec une complexité de mise en œuvre minime.

Exposé de l'invention

[0007] La présente invention a pour objectif de remédier à tout ou partie des inconvénients de l'art antérieur, notamment ceux exposés précédemment.

- 5 [0008] Selon un aspect de l'invention, il est proposé un procédé de suivi de satellites dans une séquence d'images, le procédé comprenant :
- une étape d'obtention d'un ensemble de mesures associées à des objets spatiaux observés dans les images de la séquence, chaque mesure comprenant une position d'un objet dans une image et un indice temporel de l'image ;
 - 10 - une étape de détection de trajectoires de satellites dans la séquence d'images, par un détecteur comprenant au moins un réseau de neurones et utilisant tout ou partie de l'ensemble de mesures obtenu ; et
 - une étape de classification des trajectoires de satellites détectées, par un classifieur comprenant au moins un autre réseau de neurones.

15 [0009] La présente invention permet d'extraire les trajectoires respectives des satellites observés dans la séquence d'images. En fait, la présente invention permet d'associer les mesures appartenant à un même satellite pour décrire sa trajectoire dans la séquence d'images. Il est important de noter que la présente invention permet non seulement de suivre des satellites en orbite géostationnaire, mais également des satellites en orbite terrestre moyenne ou basse.

20 [0010] De plus, la présente invention permet de classer les trajectoires détectées. Notamment, la classe attribuée à chaque trajectoire de satellite peut indiquer le type d'orbite du satellite. Par exemple, la liste des classes attribuables peut inclure : trajectoire géostationnaire fixe ; trajectoire géostationnaire dérivante ; trajectoire de type défilante (i.e. satellite en orbite terrestre moyenne ou basse se déplaçant à grande vitesse) ; et trajectoire de type trainée (i.e. satellite en orbite

25 terrestre basse se déplaçant à très grande vitesse).

[0011] En comparaison aux solutions analytiques existantes, la présente invention permet d'améliorer la fiabilité de suivi des satellites observés au sein d'une séquence d'images. Elle présente en outre une complexité de mise en œuvre réduite (i.e. des temps d'exécution réduits, moins de configuration). De manière avantageuse, la présente invention ne nécessite pas de connaissance a

30 priori des orbites pour suivre des satellites dans une séquence d'images.

[0012] En effet, l'utilisation d'un ou plusieurs réseaux de neurones pour mettre en œuvre le détecteur permet d'obtenir une détection fiable des trajectoires, en termes de trajectoires correctement détectées. Le ou les réseaux de neurones sont entraînés de manière automatique à partir de données d'entraînement (i.e. des séquences d'images de référence) pour optimiser la fiabilité de

35 détection des trajectoires des satellites. Cela permet notamment d'obtenir des performances nettement améliorées en comparaison aux solutions analytiques. De plus, l'utilisation d'un ou

plusieurs réseaux de neurones permet de réduire significativement les ressources informatiques nécessaires, notamment en termes de temps d'exécution.

[0013] Il en est de même pour le classifieur comprenant un ou plusieurs réseaux de neurones, ce qui permet d'améliorer la fiabilité de classification des trajectoires (i.e. trajectoires correctement identifiées). Cela permet également de réduire les ressources informatiques nécessaires (i.e. temps d'exécution). L'utilisation conjointe d'un ou plusieurs réseaux de neurones pour détecter les trajectoires de satellites, et d'un ou plusieurs autres réseaux de neurones pour classer ces trajectoires permet d'obtenir un suivi fiable des satellites observés dans la séquence d'images.

[0014] Ainsi, la présente invention permet de suivre des satellites dans une séquence d'images de manière fiable et avec une complexité de mise en œuvre minime.

[0015] Selon un mode de mise en œuvre, le détecteur comprend au moins un réseau de neurones convolutif, et détermine des cadres englobant (entourant) chacun une trajectoire de satellites dans les images de la séquence. De plus, selon ce mode de mise en œuvre, le classifieur comprend au moins un réseau de neurones de classification (i.e. de segmentation), notamment au moins un réseau de neurones de type PointNet. Et, pour chaque cadre englobant une trajectoire de satellite, le classifieur détermine (i.e. associe) les mesures situées dans le cadre appartenant à cette trajectoire, et attribue une classe à cette trajectoire.

[0016] Par « réseau de neurones convolutif », nous faisons référence ici à un réseau de neurones comprenant une ou plusieurs couches de convolution. Et, par « réseau de neurones de type PointNet », nous faisons référence à un réseau de neurones dédié au traitement de nuages de points, et notamment à des applications de classification et de segmentation. Les réseaux de type PointNet et leur mise en œuvre sont par exemple décrits dans le document suivant : Qi et al., « PointNet : Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation », 2017.

[0017] Ce mode de mise en œuvre propose d'utiliser un ou plusieurs réseaux de neurones convolutifs pour détecter les trajectoires de satellites, et d'utiliser un ou plusieurs réseaux de neurones de type PointNet pour classer (segmenter) ces trajectoires.

[0018] Le ou les réseaux de neurones convolutifs permettent au détecteur d'exploiter les caractéristiques spatio-temporelles de la séquence d'images pour détecter les trajectoires des satellites. Plus précisément, il exploite les caractéristiques spatio-temporelles de la séquence d'images pour déterminer des cadres englobant (i.e. des « bounding boxes » en anglais) les trajectoires de satellites. Le ou les réseaux de neurones convolutifs permettent ainsi d'obtenir une détection fiable des trajectoires des différents satellites observés dans la séquence d'images.

[0019] De plus, l'utilisation d'un ou plusieurs réseaux de neurones de type PointNet pour mettre en œuvre le classifieur est particulièrement avantageuse. En effet, le réseau de type PointNet est optimisé pour classer et segmenter des nuages de points. Ici, le réseau de type PointNet traite séparément chacun des cadres englobant les trajectoires de satellites. Pour chaque cadre

englobant une trajectoire, il prend en entrée l'ensemble des mesures situées à l'intérieur du cadre englobant dans la séquence d'images. Ainsi, ces réseaux de type PointNet permettent de séparer, de manière fiable, les mesures appartenant à la trajectoire de celles n'appartenant pas à la trajectoire, et d'attribuer une classe à cette trajectoire.

5 [0020] Aussi, ce mode de mise en œuvre permet de manière fiable d'extraire les trajectoires respectives des différents satellites observés dans la séquence d'images et de classer celles-ci.

[0021] Selon un mode de mise en œuvre, le détecteur comprend au moins un réseau de neurones de type Transformer, et associe les mesures appartenant à une même trajectoire de satellite dans les images de la séquence. Par ailleurs, selon ce mode de réalisation, le classifieur comprend au
10 moins un réseau de classification et attribue une classe à chacune des trajectoires de satellites.

[0022] Nous faisons ici référence par « réseau de neurones de type Transformer » à un réseau de neurones exploitant un mécanisme d'attention. Les réseaux de neurones de type Transformer et leur mise en œuvre sont par exemple décrits dans le document suivant : A. Vaswani et al., « Attention Is All You Need », 2017.

15 [0023] Il convient de souligner que les réseaux de type Transformer sont optimisés pour traiter des données séquentielles et permettent d'exploiter les caractéristiques temporelles des données d'entrée. Dans le contexte de l'invention, l'utilisation d'un réseau de type Transformer permet au détecteur d'exploiter les caractéristiques temporelles de l'ensemble de mesures pour extraire les trajectoires respectives des satellites observés dans la séquence d'images.

20 [0024] Ce mode de mise en œuvre est particulièrement avantageux en ce qu'il permet d'améliorer la fiabilité du suivi des satellites observés dans une séquence d'images. En outre, l'utilisation d'un réseau de type Transformer permet de réduire les ressources informatiques (i.e. le temps d'exécution) nécessaires à la mise en œuvre de la solution proposée.

[0025] Selon un mode de mise en œuvre, le détecteur détermine des vecteurs latents représentatifs
25 de dites mesures en utilisant ledit au moins un réseau de neurones de type Transformer ; et, le détecteur associe des mesures à une même trajectoire de satellite en fonction de distances entre les vecteurs latents.

[0026] Ce mode de mise en œuvre propose d'utiliser le réseau de type Transformer réseau pour représenter dans un espace latent les mesures associées aux objets spatiaux observés dans la
30 séquence d'images. Pour chacune des mesures fournies en entrée, le réseau de neurones de type Transformer détermine un vecteur latent.

[0027] Notons que le réseau de neurones de type Transformer permet d'apprendre, sur la base de données d'entraînement, un espace latent dans lequel les mesures appartenant à une même trajectoire sont proches. Ce réseau permet ainsi de représenter les mesures dans un espace latent
35 de sorte à minimiser la distance entre les vecteurs latents de mesures appartenant à une même

trajectoire, et à maximiser les distances entre les vecteurs latents de mesures appartenant à des trajectoires différentes.

[0028] Ce mode de mise en œuvre permet donc, en utilisant les distances entre les vecteurs latents, d'associer (i.e. de regrouper) de manière fiable les mesures appartenant à une même trajectoire.

5 [0029] Selon un mode de mise en œuvre, le détecteur comprend une pluralité de réseaux de neurones respectivement dédiés à la détection de trajectoires de satellites de vitesses différentes ; et /ou le classifieur comprend une pluralité de réseau de neurones respectivement dédiés à la classification de trajectoires de satellites de vitesses différentes.

10 [0030] Ce mode de mise en œuvre permet adapter la détection et/ou la classification des trajectoires en fonction de différents types de trajectoires (e.g. orbites géostationnaire fixes ou dérivantes, orbites terrestres moyennes et basses). Cela permet avantageusement d'améliorer la fiabilité de la solution proposée.

15 [0031] Selon un mode de mise en œuvre, le procédé comprend une étape de filtrage de l'ensemble de mesures pour éliminer les mesures associées à (i.e. provenant) des étoiles, et dans lequel le détecteur utilise uniquement l'ensemble de mesures filtré pour réaliser l'étape de détection de trajectoires de satellites dans la séquence d'images.

20 [0032] Ce mode de mise en œuvre permet d'éliminer les étoiles présentes dans la séquence d'images. Typiquement, les étoiles sont en nombre important par rapport aux satellites dans une séquence d'images, ce qui peut parasiter la détection des trajectoires de satellites. Aussi, ce mode de mise en œuvre contribue à améliorer la fiabilité de la solution proposée de suivi de satellites dans une séquence d'images. En outre, et de manière avantageuse, la solution proposée pour éliminer les mesures correspondant à des étoiles ne nécessite pas de connaissance a priori de leurs positions.

25 [0033] Selon un mode de mise en œuvre, l'étape de filtrage de l'ensemble de mesures pour éliminer les mesures associées à des étoiles comprend :

- une détermination d'informations de déplacement des étoiles à partir de mesures dont la luminosité est supérieure à un seuil dans les images de la séquence ; et
- une étape d'élimination (i.e. de suppression) des mesures considérées comme associées à des étoiles à partir des informations de déplacement déterminées.

30 [0034] Ce mode de mise en œuvre est avantageux en ce qu'il permet d'éliminer de manière fiable les étoiles dans les images de la séquence.

35 [0035] En fait, les inventeurs ont observé que la majorité des mesures les plus lumineuses dans une séquence d'images sont des étoiles. Aussi, il est proposé ici d'exploiter les mesures les plus lumineuses pour déterminer les informations de déplacement des étoiles (e.g. vitesse de déplacement des étoiles par image, ou angle de rotation des étoiles par image). Ensuite, ces

informations de déplacement sont utilisées pour déterminer quelles mesures correspondent à des étoiles, et éliminer celles-ci.

[0036] Selon un mode de mise en œuvre, le procédé comprend :

- une ou plusieurs étapes de fusion (i.e. de combinaison) des trajectoires de satellites pour regrouper les mesures associées à plusieurs trajectoires de satellite détectées et appartenant à un même satellite ; et/ou
- une étape de filtrage des trajectoires de satellites pour qu'une dite trajectoire de satellite comprenne uniquement une mesure par image de la séquence.

[0037] Ce mode de mise en œuvre propose de réaliser différentes étapes de post-traitement sur les trajectoires de satellites détectées par la solution proposée. Il contribue ainsi à améliorer la fiabilité de la solution proposée de suivi de satellites.

[0038] D'une part, il est proposé de fusionner (i.e. combiner) les trajectoires appartenant à un même satellite. Autrement dit, si des mesures appartenant à un même satellite ont été associées à une pluralité de trajectoires, alors ces mesures sont regroupées au sein d'une même trajectoire.

[0039] Par ailleurs, il est également proposé de filtrer les différentes trajectoires de satellites détectées de sorte que chaque trajectoire ne comprenne qu'une mesure par image de la séquence.

[0040] Selon un autre aspect de l'invention, il est proposé un dispositif de suivi de satellites dans une séquence d'images, le dispositif comprenant :

- un module d'obtention configuré pour obtenir un ensemble de mesures associées à des objets spatiaux observés dans les images de la séquence, chaque mesure comprenant une position d'un objet dans une image et un indice temporel de l'image ;
- un détecteur configuré pour détecter des trajectoires de satellites dans la séquence d'images, le détecteur comprenant au moins un réseau de neurones et utilisant tout ou partie de l'ensemble de mesures obtenu ; et
- un classifieur configuré pour classer les trajectoires de satellites détectées, le classifieur comprenant au moins un autre réseau de neurones.

[0041] Le dispositif de suivi de satellites peut être configuré pour réaliser n'importe lequel des modes de mise en œuvre d'un procédé conforme à l'invention. En particulier, pour chaque étape d'un procédé conforme à l'invention, le dispositif peut comprendre un module configuré pour mettre en œuvre cette étape.

[0042] Le terme module peut correspondre aussi bien à un composant logiciel qu'à un composant matériel ou un ensemble de composants matériels et logiciels. Un composant logiciel correspond à un ou plusieurs programmes ou sous-programmes d'ordinateur, ou de manière plus générale à tout élément d'un programme apte à mettre en œuvre une fonction ou un ensemble de fonctions telles que décrites pour les modules concernés. De la même manière, un composant matériel

correspond à tout élément d'un ensemble matériel apte à mettre en œuvre une fonction ou un ensemble de fonctions pour le module concerné.

[0043] Selon un aspect de l'invention, il est proposé un système de surveillance comprenant : un dispositif de suivi de satellites conforme à l'invention ; et un dispositif d'acquisition d'une séquence d'images.

[0044] Selon un aspect de l'invention, il est proposé un programme d'ordinateur comprenant des instructions pour mettre en œuvre les étapes d'un procédé conforme à l'invention, lorsque le programme d'ordinateur est exécuté par au moins un processeur ou un ordinateur.

[0045] Le programme d'ordinateur peut être formé d'une ou plusieurs sous-parties stockées dans une même mémoire ou dans des mémoires distinctes. Le programme peut utiliser n'importe quel langage de programmation, et être sous la forme de code source, de code objet, ou de code intermédiaire entre code source et code objet, tel que dans une forme partiellement compilée, ou dans n'importe quelle autre forme souhaitable.

[0046] Selon un aspect de l'invention, il est proposé un support d'informations lisible par ordinateur comprenant un programme d'ordinateur conforme à l'invention.

[0047] Le support d'informations peut être n'importe quelle entité ou dispositif capable de stocker le programme. Par exemple, le support peut comporter un moyen de stockage, tel qu'une mémoire non-volatile ou ROM, par exemple un CD-ROM ou une ROM de circuit microélectronique, ou encore un moyen d'enregistrement magnétique, par exemple une disquette ou un disque dur. D'autre part, le support de stockage peut être un support transmissible tel qu'un signal électrique ou optique, qui peut être acheminé via un câble électrique ou optique, par radio ou par un réseau de télécommunication ou par un réseau informatique ou par d'autres moyens. Le programme selon l'invention peut être en particulier téléchargé sur un réseau informatique. Alternativement, le support d'informations peut être un circuit intégré dans lequel le programme est incorporé, le circuit étant adapté pour exécuter ou pour être utilisé dans l'exécution du procédé en question.

[0048] Le dispositif de suivi de satellites, le système de surveillance, le programme d'ordinateur et le support d'informations proposés disposent des avantages décrits ci-dessus en lien avec le procédé proposé de suivi de satellites.

Brève description des dessins

[0049] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description fournie ci-après, illustrant des modes de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemple et dépourvus de tout caractère limitatif, en référence aux dessins ci-joints :

[0050] La figure 1 représente un exemple d'architecture d'un système de surveillance selon un mode de réalisation de l'invention ;

[0051] La figure 2 représente un exemple d'architecture d'un dispositif de suivi de satellites dans une séquence d'images selon un mode de réalisation de l'invention ;

[0052] La figure 3 représente des étapes d'un procédé de suivi de satellites dans une séquence d'images selon un mode de réalisation de l'invention ;

5 [0053] La figure 4 représente des étapes d'un procédé selon un mode de réalisation de l'invention pour éliminer des étoiles dans une séquence d'images ;

[0054] La figure 5 représente un exemple d'architecture d'un dispositif de suivi de satellites dans une séquence d'images selon un mode de réalisation de l'invention ;

10 [0055] La figure 6 représente des exemples d'images traitées par un dispositif de suivi de satellites selon un mode de réalisation de l'invention ;

[0056] La figure 7 représente un exemple d'architecture d'un dispositif de suivi de satellites dans une séquence d'images selon un mode de réalisation de l'invention ; et

[0057] La figure 8 représente des étapes d'un procédé selon un mode de réalisation de l'invention pour effectuer des opérations de post-traitement de trajectoires de satellites.

15

Description des modes de réalisation

[0058] La présente invention s'applique, en particulier, aux systèmes de surveillance de l'espace. La description suivante de l'invention se référera à ce contexte particulier d'application, qui n'est donné qu'à titre d'exemple illustratif et ne doit pas limiter l'invention.

20 [0059] **La figure 1** représente un exemple d'architecture d'un système de surveillance selon un mode de réalisation de l'invention. Cette figure est décrite ci-après pour introduire la présente invention et exemplifier un contexte d'application.

[0060] Le système de surveillance SYS comprend au moins un dispositif d'acquisition SENS et un dispositif de suivi de satellites APP. Le système SYS peut également comprendre un dispositif OUT
25 de restitution et/ou de stockage.

[0061] Nous décrivons ci-après un système SYS comprenant un unique dispositif d'acquisition SENS. Toutefois, il pourrait également être envisagé des modes de réalisation dans lesquels le système SYS comprend une pluralité de dispositifs d'acquisition SENS, situés à différents endroits sur Terre et/ou de différents types.

30 [0062] Le dispositif SENS est configuré pour acquérir (i.e. capturer) une séquence d'images IMG_SEQ. Ce dispositif SENS comprend un ou plusieurs capteurs optiques, tels qu'une caméra, ou un capteur infra-rouge. Comme illustré sur la figure 1, le dispositif SENS est configuré pour fournir la séquence d'images IMG_SEQ au dispositif APP.

[0063] La séquence d'images IMG_SEQ comprend une pluralité d'images consécutives couvrant une portion du ciel. Chaque image de la séquence IMG_SEQ est associée à un instant d'acquisition. Typiquement, au sein des images de la séquence IMG_SEQ, se trouvent à la fois des satellites en orbite autour de la Terre, des étoiles (en nombre important par rapport aux satellites), et des mesures issues de bruit (e.g. des pixels chauds).

[0064] Notons également que les satellites observés dans la séquence d'images IMG_SEQ peuvent comprendre des satellites géostationnaires fixes, des satellites géostationnaires dérivants, et des satellites défilants. En d'autres termes, les satellites observés peuvent présenter des orbites géostationnaires GEO (acronyme de « Geosynchronous Earth Orbit » en anglais), des orbites terrestres moyennes MEO (acronyme de « Medium Earth Orbit » en anglais), ou des orbites terrestres basses LEO (acronyme de « Low Earth Orbit » en anglais).

[0065] Le dispositif APP est configuré pour suivre les satellites observés dans la séquence d'images IMG_SEQ. Autrement dit, il est configuré pour déterminer les trajectoires TRJ respectives des différents satellites présents dans la séquence d'images IMG_SEQ.

[0066] Dans le contexte de l'invention, une « trajectoire de satellite » est définie par un ensemble de mesures associées au satellite, chacune de ces mesures comprenant une position du satellite (e.g. coordonnées x et y du satellite dans l'image), et un indice temporel (e.g. indice de l'image dans la séquence, ou instant d'acquisition de l'image). Par exemple, une trajectoire de satellite T_m peut être définie de la manière suivante : $T_m = \{(x_n, y_n, i_n) \mid n \in N_m\}$, avec N_m les indices des mesures associées à cette trajectoire.

[0067] Selon le mode de réalisation illustré par la figure 1, le dispositif APP est configuré pour fournir les trajectoires de satellites TRJ au dispositif OUT. Par exemple, le dispositif OUT peut être un dispositif de restitution comprenant un écran permettant d'afficher les trajectoires des satellites TRJ. En variante, le dispositif OUT pourrait être un dispositif de stockage utilisé pour enregistrer les trajectoires de satellites TRJ.

[0068] Le dispositif APP comprend, selon le mode de réalisation illustré par la figure 1 : au moins une unité de traitement ou processeur PROC ; et au moins une mémoire MEM.

[0069] Plus particulièrement, le dispositif APP dispose, selon un mode de réalisation, de l'architecture matérielle d'un ordinateur. La mémoire MEM constitue un support d'informations conforme à l'invention, c'est-à-dire lisible par le processeur PROC et sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur PROG conforme à l'invention. Le programme PROG comporte des instructions pour réaliser des étapes d'un procédé de suivi de satellites conforme à l'invention, lorsque le programme PROG est exécuté par le processeur PROC. Le programme PROG définit notamment les modules fonctionnels du dispositif APP représentés sur la figure 2, qui s'appuient sur ou commandent les éléments matériels de ce dernier.

[0070] Tel qu'illustré par la figure 1, le dispositif APP dispose d'un module de communication COM configuré pour communiquer avec le dispositif d'acquisition SENS et/ou le dispositif OUT. Aucune limitation n'est attachée à la nature des interfaces de communication entre ces dispositifs, qui peuvent être filaires ou non filaires, et peuvent mettre en œuvre tout protocole connu de l'homme du métier.

[0071] L'architecture du dispositif de suivi de satellites APP étant introduite, nous décrivons ci-après son fonctionnement en référence aux figures suivantes.

[0072] **La figure 2 et la figure 3** représentent respectivement un exemple d'architecture d'un dispositif de suivi de satellites et des étapes d'un procédé de suivi de satellites selon un mode de réalisation de l'invention. Ces figures présentent le fonctionnement du dispositif APP introduit en référence à la figure 1.

[0073] Les différents modules fonctionnels du dispositif APP sont illustrés sur la figure 2. Nous décrivons les fonctions de ces modules en relation avec les étapes du procédé de la figure 3.

[0074] Tel qu'illustré par la figure 3, le procédé proposé comprend tout ou partie des étapes S100 à S600 décrites ci-après, celles-ci étant mises en œuvre par le dispositif APP.

[0075] Le procédé proposé peut comprendre une pluralité d'itérations de chacune de ses étapes. Les étapes du procédé peuvent être réitérées à une fréquence donnée, par exemple toutes les nuits, ou toutes les semaines.

[0076] À l'étape S100, le module d'obtention OBT du dispositif APP obtient la séquence d'images IMG_SEQ. À partir de celle-ci, il obtient un ensemble de mesures S_{IN} associées aux objets spatiaux observés dans les images de la séquence IMG_SEQ.

[0077] Le dispositif APP reçoit la séquence d'images IMG_SEQ en provenance du dispositif d'acquisition SENS, par l'intermédiaire de son module de communication COM. En variante, le dispositif de surveillance APP pourrait également lire la séquence d'images IMG_SEQ sur une mémoire partagée avec le dispositif d'acquisition SENS.

[0078] Ensuite, le dispositif APP traite la séquence d'images IMG_SEQ pour obtenir l'ensemble de mesures S_{IN} associées aux différents objets spatiaux observés dans la séquence IMG_SEQ. Pour ce faire, le dispositif APP peut utiliser n'importe quelle technique connue de détection de points dans des images. Par exemple, il peut utiliser un filtre passe-haut, ou un réseau de neurones.

[0079] Pour chaque objet spatial observé dans une image de la séquence IMG_SEQ, le dispositif APP obtient une mesure (i.e. un point) en trois dimensions. Chaque mesure comprend des coordonnées x et y décrivant la position de l'objet dans l'image, et un indice temporel (e.g. l'indice de l'image dans la séquence, l'instant d'acquisition de l'image). Ainsi, l'ensemble de mesures $S_{IN} = \{(x_{nr}, y_{nr}, i_n) \mid n \in N_{IN}\}$ avec N_{IN} les indices des mesures obtenues.

[0080] À l'étape S200, le filtre FLT du dispositif APP filtre l'ensemble de mesures S_{IN} pour éliminer les mesures associées à des étoiles. Le dispositif APP obtient ainsi un ensemble de mesures filtré $S_{FLT} = \{(x_n, y_n, i_n) \mid n \in N_{FLT}\}$ avec N_{FLT} les indices des mesures conservées. Ainsi, l'ensemble de mesures filtré S_{FLT} ne comprend pas les mesures considérées comme correspondant d'étoiles.

5 [0081] Nous décrivons plus en détail la mise en œuvre de l'étape S200 en référence à la figure 4.

[0082] À l'étape S300, le détecteur DET du dispositif APP détecte, à partir de l'ensemble de mesures filtré S_{FLT} , les trajectoires de satellites TRJ dans la séquence d'images IMG_SEQ. Le détecteur DET comprend (i.e. met en œuvre) au moins un réseau de neurones artificiels.

10 [0083] À l'étape S400, le classifieur CLA du dispositif APP classe les trajectoires de satellites détectées TRJ. Le classifieur CLA comprend (i.e. met en œuvre) au moins un réseau de neurones artificiels.

[0084] Suites aux étapes S300 et S400, le dispositif APP obtient des trajectoires de satellites TRJ. Comme évoqué précédemment, la trajectoire d'un satellite T_m est définie par un ensemble de mesures $T_m = \{(x_n, y_n, i_n) \mid n \in N_m\}$ avec N_m les indices des mesures de la trajectoire. De plus, le dispositif APP attribue une classe C_m à cette trajectoire T_m .

15 [0085] Les classes attribuées aux trajectoires par le dispositif APP indiquent les types de trajectoires (i.e. d'orbites) des satellites. Par exemple, la liste des classes attribuables peut inclure : trajectoire géostationnaire fixe ; trajectoire géostationnaire dérivante ; trajectoire de type défilante (i.e. satellite en orbite terrestre moyenne ou basse se déplaçant à grande vitesse) ; et trajectoire de type trainée (i.e. satellite en orbite terrestre basse se déplaçant à très grande vitesse) ; et bruit.

20 [0086] La mise en œuvre des étapes S300 et S400 est décrite plus en détail en référence aux figures 5 et 7. Plus précisément, la figure 5 illustre un premier mode de réalisation des étapes S300 et S400, tandis que la figure 7 illustre un deuxième mode de réalisation de ces étapes.

[0087] À l'étape S500, le module de traitement PP du dispositif APP effectue des opérations (analytiques) dites de post-traitement des trajectoires de satellites détectées TRJ.

25 [0088] Cette étape permet notamment d'améliorer les résultats de la solution proposée de suivi de satellites dans une séquence d'images IMG_SEQ. La mise en œuvre de l'étape S500 est détaillée ci-après en référence à la figure 8.

[0089] À l'étape S600, et selon un mode de réalisation, le dispositif APP fournit les trajectoires de satellites TRJ au dispositif OUT, par l'intermédiaire de son module de communication COM.

30 [0090] Comme indiqué précédemment, chacune des trajectoires de satellite TRJ fournies par le dispositif APP comprend : un ensemble de mesures T_m décrivant les positions d'un satellite dans les images de la séquence IMG_SEQ ; et une classe C_m indiquant le type de trajectoire du satellite.

[0091] Le dispositif OUT peut par exemple afficher les trajectoires de satellites TRJ sur un écran. En variante, ce dispositif OUT peut être utilisé pour stocker les trajectoires de satellites TRJ. Ces

trajectoires TRJ peuvent être analysées ultérieurement par un dispositif distinct afin de cataloguer les orbites des satellites observés.

[0092] Nous avons présenté ici le fonctionnement général du dispositif APP proposé pour suivre des satellites dans une séquence d'images IMG_SEQ. Aussi, nous détaillons ci-après la mise en œuvre des étapes S200 à S500 en référence aux figures suivantes.

[0093] **La figure 4** représente des étapes d'un procédé selon un mode de réalisation de l'invention pour éliminer des étoiles dans une séquence d'images. Cette figure détaille la mise en œuvre de l'étape S200 de filtrage pour éliminer les mesures associées à des étoiles.

[0094] Tel qu'illustré par la figure 4, l'étape S200 comprend tout ou partie des étapes S210 à S240 décrites ci-après et mises en œuvre par le filtre FLT du dispositif APP.

[0095] À l'étape S210, le dispositif APP sélectionne, parmi l'ensemble de mesures S_{IN} , les mesures dont la luminosité est supérieure à un seuil dans les images de la séquence IMG_SEQ. Ainsi, le dispositif APP sélectionne les points les plus lumineux dans les images de la séquence IMG_SEQ.

[0096] Les inventeurs ont constaté que la majorité des mesures les plus lumineuses dans une séquence d'images sont des étoiles. Pour cette raison, le dispositif APP exploite les mesures les plus lumineuses pour déterminer les informations de déplacement des étoiles (soit une vitesse de déplacement des étoiles par image, soit un angle de rotation des étoiles par image).

[0097] À l'étape S220, le dispositif APP détermine les informations de déplacement des étoiles à partir de mesures sélectionnées.

[0098] Tout d'abord, le dispositif APP détermine si les trajectoires des étoiles sont sensiblement rectilignes dans la séquence d'images IMG_SEQ, ou si celle-ci sont sensiblement circulaires. Pour ce faire, il peut déterminer si les normales des trajectoires des étoiles se croisent à proximité d'un centre d'observation (i.e. si l'intersection de ces normales est proche du centre d'observation).

[0099] En fait, si la séquence d'images IMG_SEQ est acquise par un observatoire situé près de l'équateur, les trajectoires des étoiles sont sensiblement rectilignes. Le dispositif APP détermine alors la vitesse moyenne des étoiles par image. En d'autres termes, il détermine le vecteur de déplacement des étoiles d'une image à l'autre (e.g. -5,1 pixels/image selon l'axe, et -1,2 pixels/image selon axe y). Pour déterminer ce vecteur de déplacement, le dispositif APP calcule la moyenne des distances entre chacune des mesures et son voisin le plus proche dans l'image suivante.

[0100] En revanche, si la séquence d'images IMG_SEQ est acquise par un observatoire situé près des pôles, les trajectoires des étoiles sont sensiblement circulaires. Dans ce cas, le dispositif APP détermine le centre de rotation des étoiles (i.e. l'intersection des normales), ainsi que l'angle de rotation des étoiles d'une image à l'autre (e.g. 3,2 degré/image).

[0101] À l'étape S230, le dispositif APP élimine, en utilisant les informations de déplacement des étoiles, les mesures considérées comme provenant d'étoiles.

[0102] Selon un mode de réalisation, le dispositif APP réalise l'étape S230 de la manière suivante.

Pour chaque objet spatial observé, le dispositif APP prédit ses positions dans les autres images de la séquence en supposant que cet objet est une étoile. Si ces prédictions s'avèrent correctes, alors le dispositif APP considère que l'objet est une étoile et élimine la mesure associée.

[0103] Plus précisément, pour chaque mesure de chaque image de la séquence, le dispositif APP prédit les positions de l'objet dans les autres images de la séquence en utilisant les informations de déplacement des étoiles. Si le nombre de positions prédites considérées comme correctes est supérieur à un seuil, le dispositif APP élimine la mesure considérée. Une position prédite est considérée comme correcte lorsqu'il existe une mesure présente dans l'image et dont la distance à la position prédite est inférieure à un seuil.

[0104] À l'étape S240, le dispositif APP élimine, parmi les mesures restantes, les mesures isolées dans la séquence d'images IMG_SEQ.

[0105] Spécifiquement, le dispositif APP identifie les mesures qui ne possèdent pas de voisins proches, et élimine ces mesures. Une mesure est considérée comme n'ayant pas de voisins proches lorsqu'il n'y a aucune mesure située à proximité de celle-ci, c'est-à-dire aucune mesure comprise en dessous d'un seuil de distance. Le dispositif APP considère notamment l'image dans laquelle se trouve la mesure, mais également les images précédentes et suivantes (e.g. les deux images précédentes, et les deux suivantes).

[0106] Selon un mode de réalisation, le dispositif APP peut également éliminer les mesures localisées sur les bords (i.e. comprises en dessous d'une distance donnée des bords des images) dans les premières images ou les dernières images de la séquence IMG_SEQ.

[0107] Suite à ces étapes, le dispositif APP obtient un ensemble de mesures filtré S_{FLT} , dans lequel les mesures considérées comme associées à des étoiles ont été éliminées.

[0108] Cet ensemble S_{FLT} est ensuite utilisé par le dispositif APP pour détecter les trajectoires de satellites TRJ dans la séquence d'images IMG_SEQ. En particulier, nous décrivons en référence aux figures 5 et 7 deux modes de réalisation de la détection et de la classification des trajectoires de satellites.

[0109] La figure 5 représente un exemple d'architecture d'un dispositif de suivi de satellites dans une séquence d'images selon un mode de réalisation de l'invention. Cette figure illustre un premier mode de réalisation du détecteur DET et du classifieur CLA, précédemment introduits en référence aux figures 2 et 3.

[0110] Comme évoqué précédemment, lors de l'étape S300, le détecteur DET détecte des trajectoires de satellites TRJ dans la séquence d'images IMG_SEQ à partir de l'ensemble de mesures filtré S_{FLT} . Ensuite, lors de l'étape S400, le classifieur CLA classe (i.e. segmente) les trajectoires TRJ.

[0111] Ce premier mode de réalisation propose d'utiliser des réseaux de neurones convolutifs pour mettre en œuvre le détecteur DET, et d'utiliser des réseaux de neurones de type PointNet pour mettre en œuvre le classifieur CLA.

[0112] Le détecteur DET comprend, selon ce premier mode réalisation, plusieurs réseaux de

5 neurones convolutifs CNN_{LS} , CNN_{HS} , et CNN_{VHS} . Chacun de ces réseaux prend en entrée une image dans laquelle est superposé l'ensemble des mesures filtré S_{FLT} , et fournit en sortie des cadres BB englobant des trajectoires de satellites détectées (i.e. des « bounding boxes » en anglais). Un tel cadre B_m peut par exemple être défini de la manière suivante : $B_m = \{x_m, y_m, h_m, l_m\}$ avec x_m et y_m les coordonnées du centre du cadre, h_m sa hauteur et l_m sa largeur.

10 [0113] Les réseaux de neurones CNN_{LS} , CNN_{HS} , et CNN_{VHS} sont respectivement dédiés (i.e. spécialisé, entraîné) à la détection de trajectoires de satellites de vitesses différentes. Notamment, le réseau CNN_{LS} est entraîné pour détecter des trajectoires de satellites en orbite géostationnaire sensiblement fixe ou dérivante (i.e. des trajectoires à faible vitesse). Le réseau CNN_{HS} est entraîné pour détecter des trajectoires de satellites en orbite moyenne ou basse et se déplaçant à grande

15 vitesse (i.e. des trajectoires de type défilantes). Enfin, le réseau CNN_{VHS} est entraîné pour détecter des trajectoires de satellites en orbite basse et se déplaçant à très grande vitesse (i.e. trajectoires de type trainées).

[0114] Le réseau CNN_{LS} peut utiliser un réseau de neurones de type Faster R-CNN avec un réseau d'extraction de caractéristiques (i.e. « backbone network » en anglais) de type Inception V2. Les

20 réseaux de type Faster R-CNN et leur mise en œuvre sont par exemple décrits dans le document suivant : Ren et al., « Faster R-CNN : Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks », 2016. Et, les réseaux de type Inception V2 et leur mise en œuvre sont par exemple décrits dans le document suivant : Szegedy et al., « Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision », 2015.

25 [0115] En outre, les réseaux CNN_{HS} et CNN_{VHS} peuvent respectivement utiliser un réseau de neurones de type Faster R-CNN avec un réseau d'extraction de caractéristiques de type Resnet 101. Les réseaux de type ResNet 101 et leur mise en œuvre sont par exemple décrits dans le document suivant : He et al., « Deep Residual Learning for Image Recognition », 2015.

[0116] L'entraînement des réseaux de neurones du détecteur DET est effectué en utilisant des

30 données d'entraînement simulées, c'est-à-dire des images comprenant des trajectoires de satellites générées par ordinateur auxquelles du bruit est ajouté. Les réseaux de neurones peuvent également être pré-entraînés en utilisant des jeux de données publiques, tel que le jeu de données « COCO ».

[0117] Plus particulièrement, pour entraîner les réseaux de neurones de la solution proposée, il peut

35 être envisagé de générer des données comprenant des trajectoires d'étoiles (circulaires ou rectilignes), des trajectoires d'objets spatiaux de différents types, et du bruit. Ensuite, les mesures sont filtrées pour éliminer les étoiles en utilisant la technique précédemment décrite en référence

à la figure 3. Enfin, les mesures ainsi obtenues sont utilisées pour entraîner les réseaux de neurones.

[0118] Pour dédier le réseau CNN_{LS} à la détection de trajectoires de satellites en orbite géostationnaire sensiblement fixe ou dérivante (i.e. des trajectoires à faible vitesse), il est entraîné en utilisant uniquement ces types de trajectoires. De même, le réseau CNN_{HS} est entraîné en utilisant des trajectoires de type défilantes, et le réseau CNN_{VHS} est entraîné en utilisant des trajectoires de type trainées.

[0119] Pour les détails de mise en œuvre concernant l'entraînement des réseaux de neurones, notamment les fonctions de perte, l'homme du métier peut se référer aux documents précités et aux références citées dans ces documents.

[0120] Selon un mode de réalisation particulier, le réseau de neurones CNN_{LS} traite par parties l'image dans laquelle est superposé l'ensemble des mesures filtré S_{FLT} . En revanche, les réseaux CNN_{HS} et CNN_{VHS} prennent en entrée l'intégralité de cette image.

[0121] Le classifieur CLA comprend, selon ce premier mode de réalisation, plusieurs réseaux de neurones PN_{LS} et PN_{HS} de type PointNet. Ces réseaux PN_{LS} et PN_{HS} sont respectivement dédiés à la classification (i.e. la segmentation) de trajectoires de satellites TRJ de vitesses différentes.

[0122] D'une part, le réseau PN_{LS} est entraîné pour classifier des trajectoires de satellites en orbite géostationnaire sensiblement fixe ou dérivante (i.e. les trajectoires à faibles vitesses). Comme illustré sur la figure 7, le réseau PN_{LS} prend en entrée les cadres BB fournis par le réseau CNN_{LS} , dédié à la détection de trajectoires à faible vitesse.

[0123] Le réseau PN_{LS} traite séparément chacun des cadres BB. Pour chaque cadre B_m englobant une trajectoire T_m , il prend en entrée l'ensemble des mesures situées à l'intérieur du cadre B_m dans la séquence d'images IMG_SEQ . Notons également que les mesures situées dans le cadre B_m sont recentrées avant de les fournir au réseau PN_{LS} de sorte que les coordonnées x_m et y_m du centre du cadre soient égales à 0.

[0124] Le réseau PN_{LS} fournit en sortie un label à chacune des mesures situées dans le cadre B_m , ce label indiquant si la mesure appartient ou non à la trajectoire T_m . Ainsi, le réseau PN_{LS} permet de séparer les mesures appartenant aux trajectoires TRJ du bruit. De plus, il fournit en sortie une classe C_m attribuée à la trajectoire T_m .

[0125] La liste des classes attribuables par le réseau PN_{LS} est : trajectoire géostationnaire fixe ; trajectoire géostationnaire dérivante ; double trajectoires géostationnaires dérivantes (deux trajectoires dérivantes sont présentes dans un même cadre) ; et bruit.

[0126] D'autre part, le réseau PN_{HS} est entraîné pour classifier des trajectoires de satellites en orbite moyenne ou basse (i.e. les trajectoires à grande vitesse). Comme illustré sur la figure 1, le réseau PN_{HS} prend en entrée les cadres BB fournis par les réseaux CNN_{HS} et CNN_{VHS} , dédiés à la détection de trajectoires à grande vitesse.

[0127] Le réseau PN_{HS} traite séparément chacun des cadres BB. Pour le réseau PN_{HS} , seules sont fournies les mesures autour des diagonales des cadres englobants BB (i.e. comprises en dessous d'un seuil de distance des diagonales). Ces mesures sont recentrées avant de les fournir au réseau PN_{HS} de sorte que les coordonnées x_m et y_m du centre du cadre soient égales à 0. En outre, ces mesures sont normalisées avant de les fournir au réseau PN_{HS} , et ce en divisant chacune des coordonnées des mesures par le maximum en valeur absolue des coordonnées en x et en y.

[0128] Le réseau PN_{HS} fournit en sortie un label à chacune des mesures situées dans le cadre B_m , ce label indiquant si la mesure appartient ou non à la trajectoire T_m . Il fournit également en sortie une classe C_m attribuée à la trajectoire T_m .

[0129] La liste des classes attribuables par le réseau PN_{HS} est : trajectoire à grande vitesse (trajectoire de type défilante ou de type trainée) ; et bruit. Ensuite, le dispositif APP peut distinguer les trajectoires de type défilantes et les trajectoires de type trainées comme suit. Les trajectoires de type défilantes comprennent en moyenne moins de 1,5 mesures par image, tandis que les trajectoires de type trainées comprennent en moyenne plus de 1,5 mesures par image.

[0130] Pour chaque cadre englobant B_m , le dispositif APP obtient ainsi : un ensemble de mesures associées à la trajectoire $T_m = \{(x_n, y_n, i_n) \mid n \in N_m\}$ avec N_m les indices des mesures de la trajectoire ; et une classe C_m attribuée à la trajectoire T_m .

[0131] Les réseaux de type PointNet et leur mise en œuvre sont par exemple décrits dans le document Qi et al. précédemment cité. Les réseaux PN_{LS} et PN_{HS} de type PointNet sont entraînés en utilisant des données simulées.

[0132] Pour dédier le réseau PN_{LS} à la classification (segmentation) de trajectoires de satellites en orbite géostationnaire sensiblement fixe ou dérivante (i.e. des trajectoires à faible vitesse), il est entraîné en utilisant uniquement ces types de trajectoires. De même, le réseau PN_{HS} est entraîné en utilisant des trajectoires de type défilantes et des trajectoires de type trainées (i.e. des trajectoires à grande vitesse).

[0133] À des fins d'illustration, la figure suivante représente les données traitées et obtenues par les différents modules du dispositif APP selon ce premier mode de réalisation.

[0134] **La figure 6** représente des exemples d'images traitées par un dispositif de suivi de satellites selon un mode de réalisation de l'invention.

[0135] La première image IMG_SUP représente une superposition des images de la séquence IMG_SEQ obtenue par le module d'obtention OBT lors de l'étape S100.

[0136] La deuxième image IMG_SUP_FLT représente au sein d'une même image l'ensemble de mesures filtré S_{FLT} obtenu par le filtre FLT suite à l'étape S200.

[0137] La troisième image IMG_TRJ_DET représente au sein d'une même image les cadres BB englobant les trajectoires de satellites détectées par le détecteur DET suite à l'étape S300.

[0138] La quatrième image IMG_TRJ_CLA représente au sein d'une même image les trajectoires de satellites TRJ obtenues par le classifieur CLA suite à l'étape S400.

[0139] La cinquième image IMG_TRJ_PP représente au sein d'une même image les trajectoires de satellites TRJ obtenues par le module de traitement PP suite à l'étape S500.

5 [0140] Nous avons décrit ci-dessus un premier mode de réalisation du détecteur DET et du classifieur CLA du dispositif APP. Toutefois, dans le cadre de l'invention, d'autres modes de réalisation peuvent être envisagés. Aussi, nous décrivons ci-après en référence à la figure 7 un deuxième mode de réalisation de la détection et de la classification des trajectoires de satellites.

10 [0141] **La figure 7** représente un exemple d'architecture d'un dispositif de suivi de satellites dans une séquence d'images selon un mode de réalisation de l'invention. Cette figure illustre un deuxième mode de réalisation du détecteur DET et du classifieur CLA, précédemment introduits en référence aux figures 2 et 3.

[0142] Le détecteur DET comprend, selon ce deuxième mode de réalisation, au moins un réseau de neurones TRF de type Transformer, c'est-à-dire un réseau comprenant un mécanisme d'attention.
15 Les réseaux de neurones TRF de type Transformer et leur mise en œuvre sont par exemple décrits dans le document A. Vaswani et al. précédemment cité.

[0143] Selon ce deuxième mode de réalisation, le réseau TRF du détecteur DET prend en entrée les mesures de l'ensemble S_{FLT} , et fournit un vecteur latent LV pour chacune de ces mesures. Ensuite, un module d'association CLST du détecteur DET associe (i.e. regroupe) les mesures appartenant à
20 une même trajectoire de satellite T_m en fonction des distances euclidiennes entre les vecteurs latents LV.

[0144] Le dispositif APP détecte ainsi les trajectoires TRJ respectives des différents satellites observés dans la séquence d'images IMG_SEQ. Plus précisément, pour chaque trajectoire détectée T_m , le dispositif APP obtient un ensemble de mesures associées à la trajectoire $T_m = \{(x_{nr}, y_{nr}, i_n) \mid n \in N_m\}$
25 avec N_m les indices des mesures de la trajectoire.

[0145] À titre d'exemple, le module d'association CLST utilise une technique dite de regroupement hiérarchique aggloméré (« agglomerative hierarchical clustering » en anglais) avec un seuil de distance défini. Les détails de mise en œuvre de la technique de regroupement hiérarchique aggloméré sont connus de l'homme du métier.

30 [0146] Toutefois, dans le cadre de l'invention, il pourrait être envisagé des modes de réalisation dans lesquels le module d'association CLST utilise d'autres algorithmes de regroupement pour associer les mesures appartenant à une même trajectoire de satellite à partir des distances entre les vecteurs latents.

[0147] Le classifieur CLA comprend, selon ce deuxième mode de réalisation, au moins un réseau de neurones de classification CN. Ce réseau de neurones CN traite séparément les différentes
35 trajectoires de satellites détectées TRJ. Pour chaque trajectoire T_m , le réseau de classification CN

prend en entrée les mesures associées à cette trajectoire T_m , et fournit en sortie une classe C_m attribuée à cette trajectoire T_m .

[0148] Aucune limitation n'est n'attachée à l'architecture du réseau de neurones de classification CN.

Par exemple, le réseau CN peut être un perceptron multicouche, comprenant plusieurs couches
5 denses avec des fonctions d'activation de type ReLU, et une couche de sortie avec une fonction d'activation de type Softmax.

[0149] Il convient de noter que les réseaux de neurones TRF et CN peuvent être entraînés à partir de données d'entraînement simulées (i.e. générées par ordinateur).

[0150] Dans le cadre de l'invention, il pourrait également être envisagé des modes de réalisation
10 dans lesquels le détecteur DET comprend une pluralité de réseaux de neurones de type Transformer respectivement dédiés à la détection de trajectoires de satellites TRJ de vitesses différentes. De même, le classifieur CLA pourrait comprendre une pluralité de réseaux de neurones de classification respectivement dédiés à la classification de trajectoires de satellites TRJ de vitesses différentes.

15 [0151] Suite à l'étape S300 de détection et à l'étape S400 de classification des trajectoires de satellites TRJ, le dispositif APP effectue lors de l'étape S500 différents opérations de post-traitement de ces trajectoires TRJ. Comme évoqué précédemment, l'étape S500 permet d'améliorer la fiabilité du suivi de satellites réalisé par le dispositif APP. Nous détaillons la mise en œuvre de cette étape en référence à la figure suivante.

20 [0152] **La figure 8** représente des étapes d'un procédé selon un mode de réalisation de l'invention pour effectuer des opérations de post-traitement de trajectoires de satellites. Cette figure détaille la mise en œuvre de l'étape S500 introduite en référence aux figures 2 et 3.

[0153] Tel qu'illustré par la figure 8, et selon un mode de réalisation, l'étape S500 comprend tout ou
25 partie des étapes S510 à S550 décrites ci-après et mises en œuvre par le module de traitement PP du dispositif APP.

[0154] À l'étape S510, le dispositif APP fusionne (i.e. combine) des trajectoires de satellites TRJ pour
30 regrouper les mesures associées à plusieurs trajectoires de satellite détectées TRJ et appartenant à un même un satellite. Ainsi, si des mesures appartenant à un même satellite ont été associées à plusieurs trajectoires par le dispositif APP, alors ces mesures sont regroupées au sein d'une même trajectoire.

[0155] Pour ce faire, le dispositif APP compare des trajectoires de satellites TRJ deux à deux, et fusionne ou non celles-ci en fonction du résultat de la comparaison.

[0156] Spécifiquement, le dispositif APP compare le nombre de mesures communes à deux
35 trajectoires T_m et T_p . Si ce nombre est supérieure à un pourcentage donné (e.g. 20 %) du nombre de mesures de la plus petite des deux trajectoires, alors les mesures des deux trajectoires T_m et

T_p sont regroupées au sein d'une unique trajectoire. En d'autres termes, le dispositif APP réalise alors l'union des deux trajectoires T_m et T_p .

[0157] Il est important de noter que le dispositif APP ne compare pas tous les types de trajectoires ensemble. D'une part, les trajectoires de type géostationnaires fixes sont comparées uniquement entre elles. D'autre part, les trajectoires géostationnaires dérivantes, de type défilantes, et de type trainées sont comparées ensemble.

[0158] À l'étape S520, le dispositif APP réalise une complétion des trajectoires de satellites TRJ de types défilantes, c'est-à-dire les trajectoires à grande vitesse et comprenant en moyenne moins de 1,5 mesures par image. Cette complétion utilise des régressions linéaires en trois dimensions.

[0159] Pour une trajectoire T_m d'un satellite, la complétion réalisée par le dispositif APP permet d'éliminer des mesures associées à la trajectoire T_m , mais n'appartenant pas à ce satellite. De plus, cette complétion permet d'ajouter des mesures appartenant au satellite et qui n'auraient pas été associées à la trajectoire T_m .

[0160] Pour chaque mesure de la trajectoire T_m , le dispositif APP prédit la position de l'objet en utilisant de la régression linéaire en trois dimensions déterminée à partir des mesures de la trajectoire T_m . S'il existe une autre mesure plus proche de la position prédite que la mesure considérée, alors la mesure considérée est éliminée de la trajectoire T_m et est remplacée par l'autre mesure plus proche.

[0161] Pour chaque image i_k de la séquence IMG_SEQ, le dispositif APP procède de la manière suivante. Si la trajectoire T_m comprend une mesure sur cette image i_k , et si la distance entre cette mesure et une position prédite est supérieur à un seuil, alors la mesure est éliminée de la trajectoire T_m . Si la trajectoire T_m ne comprend pas de mesure sur cette image i_k , et si la distance entre la position prédite et la mesure la plus proche de la position prédite est inférieure à un seuil, alors cette mesure est associée (i.e. ajoutée) à la trajectoire T_m .

[0162] À l'étape S530, le dispositif APP filtre les trajectoires TRJ de type trainée, c'est-à-dire les trajectoires à grande vitesse comprenant en moyenne plus de 1,5 mesures par image.

[0163] Pour chaque trajectoire T_m de type trainée, le dispositif APP détermine la pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression linéaire formée par les mesures de la trajectoire T_m . Il élimine ensuite, parmi les mesures de la trajectoire T_m , celles qui s'écartent au-delà d'une distance donnée de la droite de régression linéaire.

[0164] Le dispositif APP élimine ainsi les mesures qui ne sont pas alignées le long de la trajectoire en deux dimensions. En ce sens, il réalise un polissage des trajectoires de type trainées.

[0165] À l'étape S540, le dispositif APP fusionne les trajectoires de type trainées. Cela permet d'éviter qu'une même trajectoire de type trainée ne soit détectée en plusieurs morceaux disjoints par le dispositif APP. À cet effet, le dispositif APP compare les trajectoires de types trainée entre elles, et fusionne ou non celles-ci en fonction du résultat de la comparaison.

[0166] En fait, le dispositif compare deux à deux les droites de régression linéaire des trajectoires de type trainées. Pour deux trajectoires T_m et T_p de type trainées, si la différence entre leurs pentes est inférieure à un seuil, et si la différence entre leurs ordonnées à l'origine est inférieure à un autre seuil, alors le dispositif APP regroupe les mesures des deux trajectoires T_m et T_p au sein d'une unique trajectoire.

[0167] À l'étape S550, le dispositif APP filtre les trajectoires de satellites TRJ de sorte que chacune des trajectoires comprenne uniquement une mesure par image de la séquence IMG_SEQ.

[0168] Si une trajectoire T_m comprend plusieurs mesures sur une image de la séquence IMG_SEQ, le dispositif APP combine ces mesures pour obtenir une unique mesure. Par exemple, la position de l'unique mesure obtenue par le dispositif APP peut correspondre au barycentre des positions des mesures de la trajectoire T_m comprises dans cette image.

[0169] **Variantes additionnelles :** Il est à noter que l'ordre dans lequel s'enchaînent les étapes d'un procédé conforme à l'invention, notamment en référence aux dessins ci-joints, ne constitue qu'un exemple de réalisation dépourvu de tout caractère limitatif, des variantes étant possibles. En particulier, un procédé conforme à l'invention peut comprendre une ou plusieurs itérations des étapes décrites ci-dessus, notamment en référence aux dessins ci-joints. Par ailleurs, les signes de référence ne limitent pas l'étendue de la protection, leur unique fonction étant de faciliter la compréhension des revendications.

[0170] Un homme du métier comprendra que les modes de réalisation et variantes décrits ci-dessus ne constituent que des exemples non limitatifs de mise en œuvre de l'invention. En particulier, l'homme du métier pourra envisager une quelconque adaptation ou combinaison des modes de réalisation et variantes décrits ci-dessus afin de répondre à un besoin bien particulier.

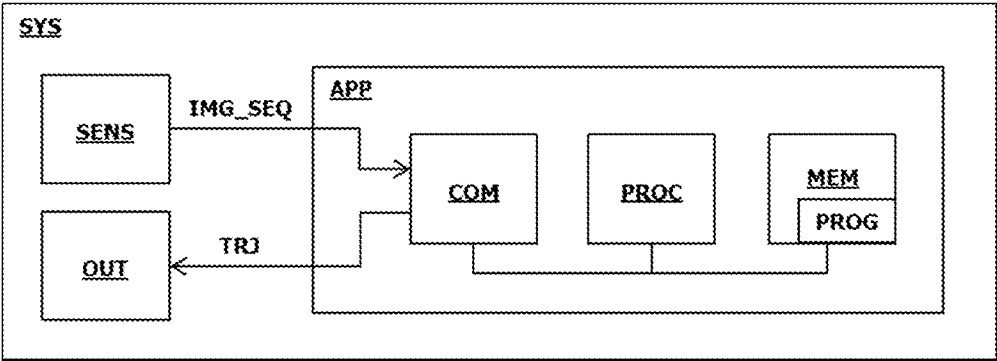
Revendications

1. Procédé de suivi de satellites dans une séquence d'images (IMG_SEQ), le procédé comprenant :
 - une étape d'obtention (S100) d'un ensemble de mesures (S_{IN}) associées à des objets spatiaux observés dans les images de la séquence (IMG_SEQ), chaque mesure comprenant une position d'un objet dans une image et un indice temporel de l'image ;
 - une étape de détection (S300) de trajectoires de satellites (TRJ) dans la séquence d'images (IMG_SEQ), par un détecteur (DET) comprenant au moins un réseau de neurones et utilisant tout ou partie de l'ensemble de mesures obtenu (S_{IN}) ; et
 - une étape de classification (S400) des trajectoires de satellites détectées (TRJ), par un classifieur (CLA) comprenant au moins un autre réseau de neurones.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel :
 - le détecteur (DET) comprend au moins un réseau de neurones convolutif (CNN), et détermine (S200) des cadres (BB) englobant chacun une trajectoire de satellites (TRJ) dans les images de la séquence (IMG_SEQ) ; et
 - le classifieur (CLA) comprend au moins un réseau de neurones de type PointNet, et pour chaque cadre (BB) englobant une trajectoire de satellite (TRJ), le classifieur (CLA) détermine (S300) les mesures situées dans le cadre appartenant à cette trajectoire, et attribue (S300) une classe à cette trajectoire.
3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le détecteur (DET) comprend au moins un réseau de neurones de type Transformer (TRF), et associe (S200) les mesures appartenant à une même trajectoire de satellite (TRJ) dans les images de la séquence (IMG_SEQ).
4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel le détecteur (DET) détermine (S200) des vecteurs latents (LV) représentatifs de dites mesures (S_{FLT}) en utilisant ledit au moins un réseau de neurones de type Transformer, et associe (S200) des mesures à une même trajectoire de satellite (TRJ) en fonction de distances entre les vecteurs latents (LV).
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel :
 - le détecteur (DET) comprend une pluralité de réseaux de neurones (CNN_{LS} , CNN_{HS} , CNN_{VHS}) respectivement dédiés à la détection de trajectoires de satellites (TRJ) de vitesses différentes ; et
 - le classifieur (CLA) comprend une pluralité de réseau de neurones (PN_{LS} , PN_{HS}) respectivement dédiés à la classification de trajectoires de satellites (TRJ) de vitesses différentes.

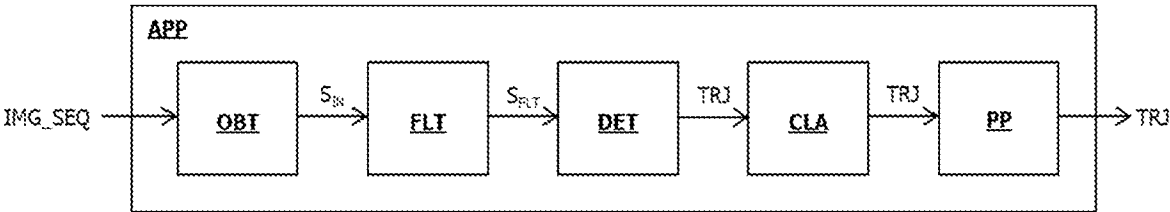
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant une étape de filtrage (S200) de l'ensemble de mesures (S_{IN}) pour éliminer les mesures associées à des étoiles, et dans lequel le détecteur (DET) utilise uniquement l'ensemble de mesures filtré (S_{FLT}) pour réaliser l'étape de détection (S300) de trajectoires de satellites (TRJ) dans la séquence d'images (IMG_SEQ).
7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel l'étape de filtrage (S200) de l'ensemble de mesures (S_{IN}) pour éliminer les mesures associées à des étoiles comprend :
- une détermination (S220) d'informations de déplacement des étoiles à partir de mesures dont la luminosité est supérieure à un seuil dans les images de la séquence (IMG_SEQ) ; et
 - une étape d'élimination (S230) des mesures considérées comme associées à des étoiles à partir des informations de déplacement déterminées.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, comprenant en outre :
- une ou plusieurs étapes de fusion (S510, S540) des trajectoires de satellites pour regrouper les mesures associées à plusieurs trajectoires de satellite détectées (TRJ) et appartenant à un même un satellite ; et
 - une étape de filtrage (S550) des trajectoires de satellites (TRJ) pour qu'une dite trajectoire de satellite (TRJ) comprenne uniquement une mesure par image de la séquence (IMG_SEQ).
9. Dispositif (APP) de suivi de satellites dans une séquence d'images (IMG_SEQ), le dispositif (APP) comprenant :
- un module d'obtention (OBT) configuré pour obtenir (S100) un ensemble de mesures (S_{IN}) associées à des objets spatiaux observés dans les images de la séquence (IMG_SEQ), chaque mesure comprenant une position d'un objet dans une image et un indice temporel de l'image ;
 - un détecteur (DET) configuré pour détecter (S300) des trajectoires de satellites (TRJ) dans la séquence d'images (IMG_SEQ), le détecteur (DET) comprenant au moins un réseau de neurones et utilisant tout ou partie de l'ensemble de mesures obtenu (S_{IN}) ; et
 - un classifieur (CLA) configuré pour classer (S400) les trajectoires de satellites détectées (TRJ), le classifieur (CLA) comprenant au moins un autre réseau de neurones.
10. Système (SYS) de surveillance comprenant :
- un dispositif (APP) de suivi de satellites selon la revendication 9 ; et
 - un dispositif (SENS) d'acquisition d'une séquence d'images (IMG_SEQ).
11. Programme d'ordinateur (PROG) comprenant des instructions pour mettre en œuvre les étapes (S100-S600) d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 8, lorsque ledit programme d'ordinateur (PROG) est exécuté par au moins un processeur (PROC).

12. Support d'informations (MEM) lisible par ordinateur comprenant un programme d'ordinateur (PROG) selon la revendication 11.

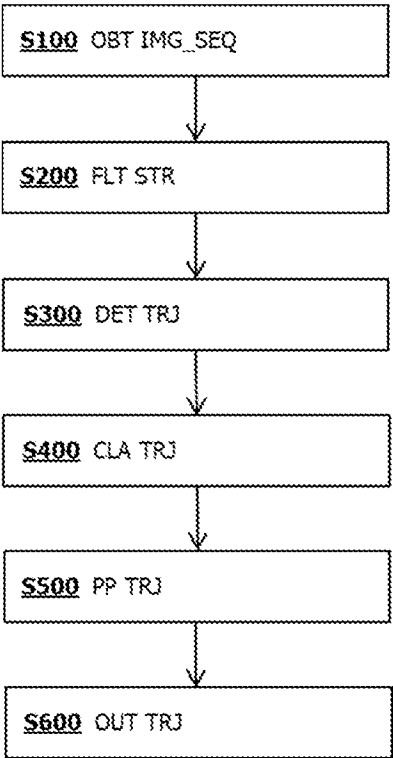
[Fig. 1]



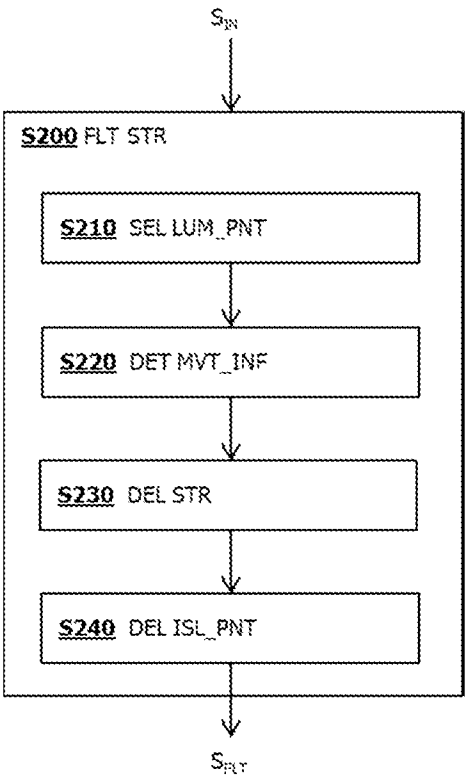
[Fig. 2]



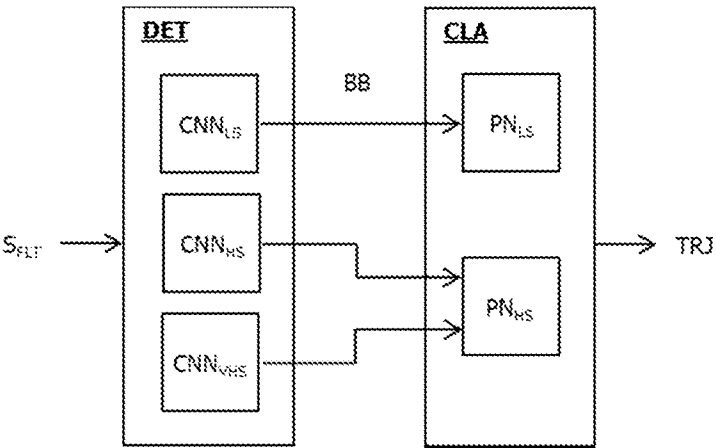
[Fig. 3]



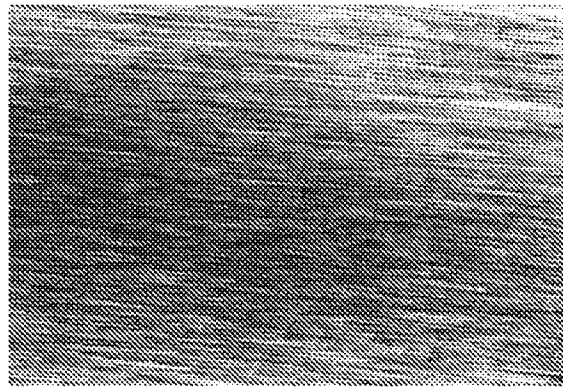
[Fig. 4]



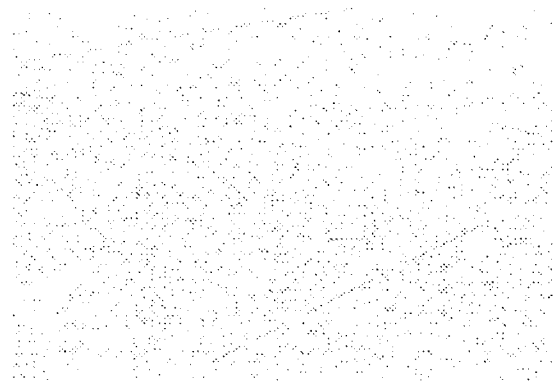
[Fig. 5]



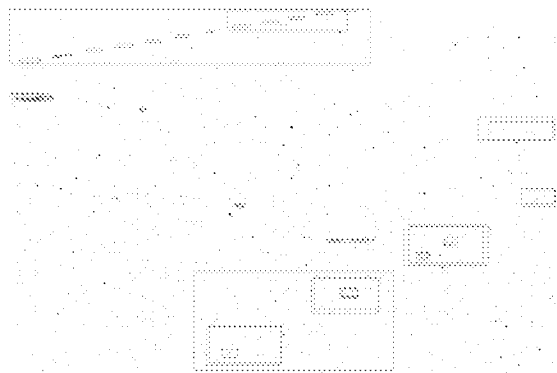
[Fig. 6]



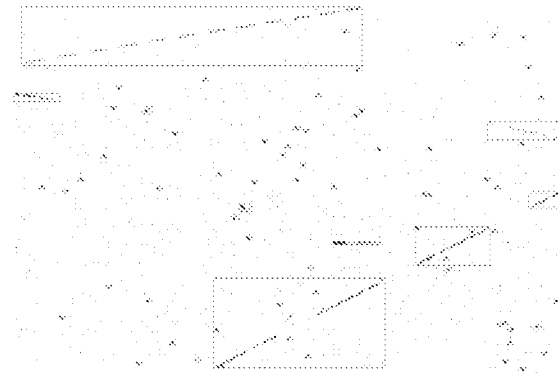
IMG_SUP



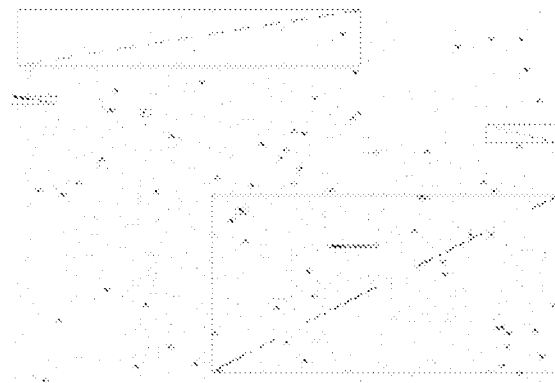
IMG_SUP_FLT



IMG_TRJ_DET

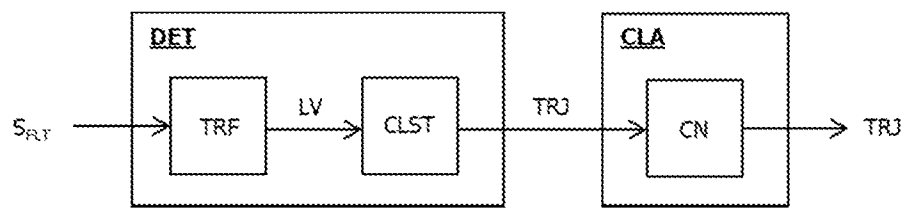


IMG_TRJ_CLA

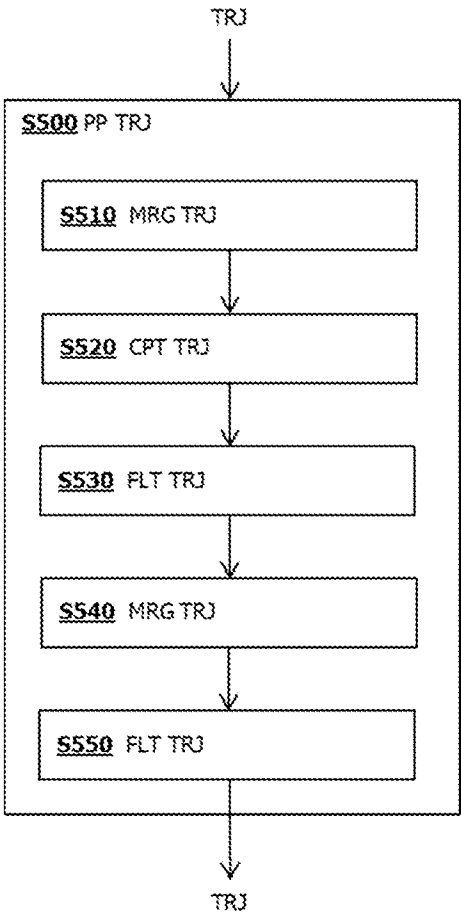


IMG_TRJ_PP

[Fig. 7]



[Fig. 8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2024/050918

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G06V 10/62**(2022.01)i; **G06T 7/20**(2017.01)i; **G06V 10/82**(2022.01)i; **G06V 20/52**(2022.01)i; **B64G 3/00**(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06V; G06T; B64G

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JARRED JORDAN ET AL. "Quasi Real-Time Autonomous Satellite Detection and Orbit Estimation" <i>ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201 OLIN LIBRARY CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY 14853</i> , 13 April 2023 (2023-04-13), XP091483482	1,3,4,6-12
A	the whole document	2,5
Y	LIU TONG ET AL. "Photometric space object classification via deep learning algorithms" <i>ACTA ASTRONAUTICA, PERGAMON PRESS, ELMSFORD, GB</i> , Vol. 185, 08 May 2021 (2021-05-08), pages 161-169, [retrieved on 2021-05-08] DOI: 10.1016/J.ACTAASTRO.2021.05.008 ISSN: 0094-5765, XP086602851	1,3,4,8-12
	the whole document	
Y	PENG HAO ET AL. "Comparative evaluation of three machine learning algorithms on improving orbit prediction accuracy" <i>ASTRODYNAMICS</i> , Vol. 3, No. 4, 01 December 2019 (2019-12-01), pages 325-343 DOI: 10.1007/s42064-018-0055-4 ISSN: 2522-008X, XP093125074	1,3,4,6-12
	the whole document	



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

23 September 2024

Date of mailing of the international search report

04 October 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

de Bont, Emma

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2024/050918

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 3120950 A1 (SHARE MY SPACE [FR]) 23 September 2022 (2022-09-23) the whole document	1,9-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2024/050918

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
FR	3120950	A1	23 September 2022	AU	2022241064	A1	26 October 2023
				EP	4308460	A1	24 January 2024
				FR	3120950	A1	23 September 2022
				US	2024168193	A1	23 May 2024
				WO	2022195231	A1	22 September 2022

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G06V10/62 G06T7/20 G06V10/82 G06V20/52 B64G3/00 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) G06V G06T B64G		
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		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	JARRED JORDAN ET AL: "Quasi Real-Time Autonomous Satellite Detection and Orbit Estimation", ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201 OLIN LIBRARY CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY 14853, 13 avril 2023 (2023-04-13), XP091483482,	1, 3, 4, 6-12
A	le document en entier ----- - / - -	2, 5
☒ 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 23 septembre 2024		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 04/10/2024
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé de Bont, Emma

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	LIU TONG ET AL: "Photometric space object classification via deep learning algorithms", ACTA ASTRONAUTICA, PERGAMON PRESS, ELMSFORD, GB, vol. 185, 8 mai 2021 (2021-05-08), pages 161-169, XP086602851, ISSN: 0094-5765, DOI: 10.1016/J.ACTAASTRO.2021.05.008 [extrait le 2021-05-08] le document en entier -----	1,3,4, 8-12
Y	PENG HAO ET AL: "Comparative evaluation of three machine learning algorithms on improving orbit prediction accuracy", ASTRODYNAMICS, vol. 3, no. 4, 1 décembre 2019 (2019-12-01), pages 325-343, XP093125074, ISSN: 2522-008X, DOI: 10.1007/s42064-018-0055-4 le document en entier -----	1,3,4, 6-12
A	FR 3 120 950 A1 (SHARE MY SPACE [FR]) 23 septembre 2022 (2022-09-23) le document en entier -----	1,9-12

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2024/050918

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 3120950	A1	23 - 09 - 2022	
		AU 2022241064 A1	26 - 10 - 2023
		EP 4308460 A1	24 - 01 - 2024
		FR 3120950 A1	23 - 09 - 2022
		US 2024168193 A1	23 - 05 - 2024
		WO 2022195231 A1	22 - 09 - 2022
