

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 147 416**

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

②1 N° d'enregistrement national : **23 02975**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 06 T 7/20** (2023.01), G 06 N 3/046, G 06 T 1/00,
G 08 G 1/01

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 **Date de dépôt** : 28.03.23.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 04.10.24 Bulletin 24/40.

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

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

Demanda(s) d'extension :

⑦1 **Demandaeur(s)** : IDEMIA IDENTITY & SECURITY
FRANCE SAS — FR.

⑦2 **Inventaeur(s)** : PERRAULT Pierre, ASSERPE Samuel
et BOUATAY Wassim.

⑦3 **Titulaire(s)** : IDEMIA IDENTITY & SECURITY
FRANCE SAS.

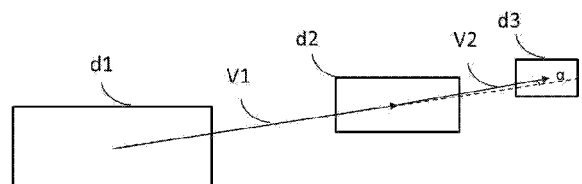
⑦4 **Mandataire(s)** : IDEMIA IDENTITY & SECURITY
FRANCE.

⑤4 **Procédé de suivi d'objets multiples.**

⑤7 **Procédé de suivi d'objets multiples**

Procédé de suivi d'objets multiples dans des acquisitions temporelles d'images, comprenant pour l'initialisation des traceurs :- une étape de détermination de cadre de délimitation d'objet détecté sans identifiant associé parmi les images;- une étape de détermination d'un ensemble de multiplets séquentiels candidats desdits cadres (d1, d2, d3) de délimitation d'objet détecté sans identifiant, chaque multiplet comprenant comme premier élément un cadre (d1) sans identifiant d'une image h, comme deuxième élément un cadre (d2) sans identifiant d'une image i, avec $i > h$ et comme troisième élément un cadre (d3) sans identifiant d'une image j avec $j > i$;- une étape de calcul d'un indice d'erreur de cohérence pour chaque multiplet; l'indice d'erreur de cohérence étant calculé en fonction de k-1 vecteurs (v1, v2) reliant chacun le point de référence d'un élément au point de référence de l'élément suivant.

Figure pour l'abrégé : Fig. 3



FR 3 147 416 - A1



Description

Titre de l'invention : Procédé de suivi d'objets multiples

- [0001] L'invention concerne un procédé de suivi d'objets multiples dans des acquisitions temporelles d'images, en particulier de véhicules dans un contexte routier, les images provenant notamment d'un dispositif de prise de vue fixe dont le champ de vision comprend une voie de circulation.
- [0002] L'invention s'applique, notamment, à des domaines techniques tels que la sécurité pour l'identification des véhicules en infraction roulant à une vitesse élevée.
- [0003] L'objectif du suivi d'objets multiples est d'identifier spatialement et temporellement les objets d'intérêt dans une séquence d'images, c'est-à-dire, pour chaque objet d'intérêt, de placer un cadre de délimitation autour de lui et de lui donner un identifiant unique de suivi cohérent dans le temps. En d'autres termes, chaque objet suivi est tracé et son traceur est représenté par une séquence temporelle de cadres de délimitation, sous forme par exemple de boîtes englobantes, chaque traceur possédant un identifiant unique de suivi.
- [0004] Le suivi d'objets multiples exige également que l'algorithme de suivi soit en temps réel (appelé également "suivi en ligne"), ce qui signifie que les cadres de délimitation et les identifiants de suivi associés doivent être déterminés au plus tôt dès qu'une image est capturée (par exemple avec une latence inférieure à un seuil déterminé, notamment de cinq trames (ou images)).
- [0005] Enfin, en général, les algorithmes de suivi permettent de prédire la position future des multiples objets mobiles sur la base de l'historique des positions individuelles.
- [0006] Un point critique correspond donc à l'apparition d'un nouvel objet dans le champ de vision du dispositif d'acquisition d'images car l'objet est alors inconnu, sans vitesse déterminée, c'est-à-dire sans moyen d'estimer la localisation du prochain cadre dans l'image suivante. Cette phase est aussi nommée phase d'initialisation, elle est achevée quand le nouvel objet a pu être associé à un identifiant unique de suivi et sa vitesse courante déterminée.
- [0007] Il est connu de l'état de la technique de tels procédés de suivi d'objets utilisant des méthodes d'initialisation géométrique des identifiants de suivi entre deux images acquises consécutivement, notamment au moyen de la détermination de score d'intersection sur l'union (ou IOU), tel que l'algorithme appelé SORT décrit dans l'article Simple Online and Realtime Tracking, de Bewley Alex, Ge Zongyuan, Ott, Lionel, Ramos Fabio et Upcroft Ben dans 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pages 3464-3468, mais ces méthodes ne permettent pas toujours d'initialiser suffisamment rapidement les identifiants de suivi, notamment quand la fréquence d'acquisition des images est faible au regard de la dynamique des

objets mobiles suivis.

[0008] Des améliorations de ces méthodes ont été développées, on connaît notamment la méthode d'initialisation géométrique hybride des identifiants de suivi dans laquelle l'appariement du traceur à son identifiant unique de suivi comporte une analyse comparative des objets des images par apprentissage profond utilisant des réseaux de neurones, tel que l'algorithme appelé DEEPSORT décrit dans l'article Simple Online and Realtime Tracking with a Deep Association Metric de Nicolai Wojke, Alex Bewley et Dietrich Paulus dans 2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pages 3645--3649, cependant cette méthode est coûteuse en temps de calcul et rend le suivi plus lent.

[0009] La présente invention vise à pallier au moins en partie ces inconvénients, menant éventuellement à d'autres avantages.

[0010] A cet effet, est proposé, selon un premier aspect, un procédé de suivi d'objets multiples dans des acquisitions temporelles d'images, notamment des vidéos monoculaires, composées d'une séquence temporelle d'images acquises consécutivement, ledit procédé comprenant :

- une étape de réception de n images acquises consécutivement de ladite séquence, n étant supérieur ou égal à 3;
- une étape de détection d'objet dans chacune desdites images, notamment au moyen d'un réseau de neurones convolutif ;
- une étape de délimitation de l'objet détecté, notamment par détermination d'un cadre de délimitation englobant ledit au moins un objet détecté, dans un référentiel de l'image dans laquelle ledit objet a été détecté ;
- une étape d'association sous un identifiant unique de suivi propre à un objet suivi d'un cadre de délimitation d'une première image de la séquence d'images à un cadre de délimitation d'une deuxième image de ladite séquence, lesdites première et deuxième images étant notamment consécutives, en fonction d'un seuil minimal de chevauchement ;
- une étape de détermination d'une vitesse courante dudit objet suivi ;
- une étape de détermination de cadre de délimitation d'objet détecté sans identifiant associé parmi les n images;
- une étape de détermination d'un ensemble de multipléts séquentiels candidats de k cadres de délimitation d'objet détecté sans identifiant, avec k supérieur ou égal à 3 et k inférieur ou égal à n , chaque multipléte comprenant comme premier élément un cadre sans identifiant d'une image h parmi les n images, comme deuxième élément un cadre sans identifiant d'une image i parmi les n images, avec i supérieur à h et comme troisième élément un cadre sans identifiant d'une image j parmi les n images, avec j supérieur à i ;

- une étape de calcul d'un indice d'erreur de cohérence pour chaque multiplet séquentiel candidat ;
- une étape d'attribution au multiplet candidat ayant l'indice d'erreur de cohérence le plus faible, et notamment inférieur à un seuil d'erreur de cohérence prédéterminé, d'un autre identifiant unique de suivi propre à un autre objet suivi et association sous ledit autre identifiant unique de suivi desdits k cadres du multiplet; et
- une étape de détermination d'une vitesse courante dudit autre objet suivi.

- [0011] Le procédé de suivi d'objets multiples selon l'invention permet d'améliorer les performances de suivi d'objet sans augmentation sensible du temps de calcul, et contribue à la robustesse lors de la phase d'initialisation du suivi d'objet en apparant rapidement le cadre de délimitation englobant chaque nouvel objet détecté apparaissant dans le champ de vision du système d'acquisition d'images à son identifiant unique de suivi.
- [0012] En effet, le procédé de suivi d'objets selon l'invention permet l'initialisation rapide même en cas de non détection d'un objet dans une image de la séquence et d'associer sous un identifiant unique de suivi des détections issues d'images non consécutives mais cohérentes entre elles. En effet, lesdites première et deuxième images sont notamment consécutives mais ne le sont pas nécessairement.
- [0013] Le procédé de suivi d'objets selon l'invention s'applique aussi bien à des séquences d'images sous forme de vidéos monoculaires acquises par un dispositif d'acquisition fixe, qu'à des séquences d'images acquises par lidar sous forme de nuages de points, que ce soit par un dispositif fixe ou mobile (dans un véhicule autonome par exemple, sous réserve de connaître sa vitesse instantanée), ou qu'à une séquences d'images fusionnées provenant d'un dispositif d'acquisition radar et lidar par exemple, fixe ou mobile.
- [0014] En outre, le procédé de suivi d'objets selon l'invention permet l'utilisation d'un référentiel en deux dimensions ou trois dimensions de l'image, c'est-à-dire de travailler soit en coordonnées pixeliques de l'image soit en trois dimensions, le calcul en trois dimensions permettant des calculs géométriques plus simple que dans un référentiel pixelique. Dans le cas de l'acquisition d'une image monoculaire, en deux dimensions, le passage en trois dimensions est permis par la connaissance de données de contexte, c'est-à-dire ici de l'environnement géométrique en cas de dispositif fixe acquises lors de la mise en place et la calibration du dispositif fixe. Dans le cas d'une acquisition initialement en trois dimensions (par exemple au moyen d'un lidar, d'un capteur temps de vol (ToF pour Time of Fly en anglais), capteur stéréoscopique ou lidar couplé à un radar), l'image reçue est déjà en trois dimensions. Dans le cas d'un référentiel en deux dimensions les cadres de délimitation sont notamment des rectangles et dans le cas d'un référentiel en trois dimensions les cadres de délimitation sont notamment des parallélépipèdes.

- [0015] De plus, le procédé de suivi d'objets selon l'invention fait référence à un indice d'erreur de cohérence, de manière à raisonner en terme de minimisation d'erreur néanmoins un indice de cohérence pourrait également être utilisé et pour être retenu le multiplet devrait présenter l'indice de cohérence le plus élevé.
- [0016] La répétition itérative en boucle des étapes ayant pour but d'affecter un identifiant unique de suivi au multiplet candidat ayant l'indice de cohérence d'erreur le plus faible, suit la logique d'un algorithme glouton et permet de n'associer un cadre qu'à un seul identifiant à puisque une fois le cadre associé à un identifiant celui-ci n'est plus déterminé comme un cadre de délimitation d'objet détecté sans identifiant associé.
- [0017] Avantagement, l'étape d'attribution et d'association est conditionnée par l'infériorité dudit indice d'erreur de cohérence le plus faible à un seuil d'erreur de cohérence prédéterminé, ce qui permet de ne pas apparier des objets sans rapport sous un identifiant unique de suivi.
- [0018] Par exemple, le seuil d'erreur de cohérence prédéterminé est fixé en fonction des applications.
- [0019] De manière avantageuse, pour chaque multiplet candidat l'indice d'erreur de cohérence est calculé en fonction d'un positionnement relatif desdits cadres sans identifiant dudit multiplet, ce qui permet un calcul de cohérence basé sur les considérations géométriques.
- [0020] Avantagement, le positionnement relatif desdits cadres sans identifiant dudit multiplet est déterminé relativement au positionnement d'un point unique de référence propre de chacun desdits cadres sans identifiant, ce qui facilite le calcul du positionnement relatif.
- [0021] Avantagement, en cas de dispositif d'acquisition fixe, le repère de positionnement est le référentiel de l'image dans laquelle ledit objet a été détecté, ce référentiel étant unique et identique pour toutes les images.
- [0022] Par exemple, le point unique de référence d'un cadre est un point du cadre, notamment un point milieu d'un segment supérieur du cadre.
- [0023] De manière avantageuse, le point unique de référence de chacun desdits cadres sans identifiant est le centre de chacun desdits cadres sans identifiant, ce qui permet d'être facilement déterminé, et moins sensible aux aléas d'acquisition qu'un coin du cadre dans le cas d'une image comportant une vue incomplète du véhicule, que ce soit lors de l'incursion partielle du véhicule dans le champ de vision du dispositif d'acquisition (en bord d'image) ou lors d'un dépassement par un autre véhicule le cachant partiellement.
- [0024] De manière avantageuse, lesdits points uniques de référence propres à chacun desdits cadres sans identifiant sont déterminés par un réseau de neurones convolutif ayant appris sur une base d'images comportant des objets tronqués, ce qui donne plus de

latitude sur la définition du point unique de référence du cadre car il peut alors être défini par exemple comme étant le centre de l'objet, sans être nécessairement géométriquement au centre du cadre.

- [0025] Avantageusement, l'indice d'erreur de cohérence est calculé en fonction de $k-1$ vecteurs reliant chacun le point de référence d'un élément au point de référence de l'élément suivant, lesdits vecteurs étant notamment fonction d'une différence de temps entre les acquisitions des deux images, en appelant
- premier vecteur, le vecteur reliant le point de référence du premier élément et le point de référence du deuxième élément du multiplet, ledit premier vecteur étant notamment fonction d'une différence de temps entre les deux acquisitions des images h et i , et ;
 - deuxième vecteur, le vecteur reliant le point de référence du deuxième élément et le point de référence du troisième élément du multiplet, ledit deuxième vecteur étant notamment fonction d'une différence de temps entre les deux acquisitions des images i et j ,

ce qui permet de prendre en considération des alignements par paires, la prise en compte de la différence temporelle permettant de dimensionner une vitesse et notamment de s'adapter au cas d'un multiplet de trois éléments dont les éléments n'appartiennent pas à des images directement consécutives, ou dans le cas d'acquisition d'images avec échantillonnage temporel irrégulier par exemple.

- [0026] Avantageusement chaque image reçue comporte l'horodatage de son instant d'acquisition dans le référentiel temporel du dispositif d'acquisition au moyen par exemple de métadonnées intégrées à ladite image.

- [0027] Selon un mode de réalisation, l'indice d'erreur de cohérence est calculé en fonction d'un angle entre lesdits premier et deuxième vecteurs, et notamment d'un rapport entre le premier et le deuxième vecteur, tel que $IEC = \left(1 - \cos(\alpha)\right) \left|1 - \frac{|v_1|}{|v_2|}\right|$, l'angle entre les deux vecteurs permettant d'apprécier leur colinéarité, et le rapport des vecteurs permettant d'apprécier leur grandeur relative.

- [0028] Selon un autre mode de réalisation, l'indice d'erreur de cohérence est calculé en fonction de la moyenne \bar{v} desdits $k-1$ vecteurs (v_i), tel que
- $$IEC(v_1, \dots, v_{k-1}) = \frac{1}{k-1} \sum_i \frac{|v_i - \bar{v}|}{|\bar{v}|}$$
- ce qui permet une approche symétrique et une application simple à des multiplets de plus de trois éléments.

- [0029] Avantageusement, lesdits objets détectés sont des véhicules ou des piétons, ce qui permet une application à la détection des infractions routières ainsi qu'une application au suivi des piétons, pour lesquels il est fréquent que la fréquence d'acquisition d'images soit faible au regard de la dynamique de déplacement de l'objet.

- [0030] L'invention propose également un produit programme d'ordinateur comprenant les instructions de programme mettant en œuvre les étapes du procédé de détermination selon l'invention, lorsque les instructions de programme sont exécutées par un ordinateur, présentant les mêmes avantages que le procédé selon l'invention.
- [0031] L'invention vise également un système de suivi d'objets multiples comportant un dispositif d'acquisition d'images et un produit programme d'ordinateur selon l'invention, présentant les mêmes avantages que ceux du procédé selon l'invention. Préférentiellement, ledit produit programme d'ordinateur est mémorisé dans une mémoire du dispositif d'acquisition d'images, ce dernier comportant notamment une caméra monoculaire.
- [0032] Avantageusement ledit système de suivi d'objets multiples est fixe.
- [0033] L'invention sera bien comprise et ses avantages apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée qui suit, donnée à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux dessins annexés dans lesquels :
- [0034] - [Fig.1] La [Fig.1] montre schématiquement les étapes du procédé de l'invention selon un exemple.
- [0035] – [Fig.2] La [Fig.2] présente un exemple d'image sans chevauchement entre les cadres de quatre images acquises consécutivement.
- [0036] – [Fig.3] La [Fig.3] présente un exemple de triplet.
- [0037] – [Fig.4] La [Fig.4] est un bloc-diagramme schématique d'un dispositif de traitement de l'information pour la mise en œuvre d'un ou plusieurs modes de réalisation de l'invention.
- [0038] Les éléments identiques représentés sur les figures précitées sont identifiés par des références numériques identiques.
- [0039] La [Fig.1] présente schématiquement les étapes d'un procédé de suivi d'objets multiples dans des acquisitions temporelles d'images selon l'invention.
- [0040] Les acquisitions temporelles d'images sont composées d'une séquence temporelle d'images acquises consécutivement.
- [0041] Ces images peuvent notamment provenir de vidéos monoculaires, ou de systèmes d'acquisition d'images (par exemple sous forme de nuages de points) en 3 dimensions (par exemple lidar, capteur temps de vol, capteur stéréoscopique, combiné de radar et lidar).
- [0042] Le procédé comprend les étapes suivantes:
- une étape E1 de réception de n images acquises consécutivement de ladite séquence, n étant supérieur ou égal à 3;
 - une étape E2 de détection d'objet dans chacune desdites images, notamment au moyen d'un réseau de neurones convolutif ;
 - une étape E3 de délimitation de l'objet détecté, notamment par détermination d'un

cadre de délimitation englobant ledit au moins un objet détecté, dans un référentiel de l'image dans laquelle ledit objet a été détecté ;

- une étape E4 d'association sous un identifiant unique de suivi propre à l'objet suivi d'un cadre de délimitation d'une première image de la séquence d'images à un cadre de délimitation d'une deuxième image de ladite séquence, lesdites première et deuxième images étant notamment consécutives (mais pas nécessairement), en fonction d'un seuil minimal de chevauchement ;
- une étape E5 de détermination d'une vitesse courante dudit objet suivi ;
- une étape E6 de détermination de cadre de délimitation d'objet détecté sans identifiant associé parmi les n images, comprenant notamment les images appelées ici h, i et j,;
- une étape E7 de détermination d'un ensemble de multipliets séquentiels candidats de k cadres (d1, d2, d3) de délimitation d'objet détecté sans identifiant, chaque multipliet comprenant k éléments, avec k supérieur ou égal à 3 et k inférieur ou égal à n, chaque multipliet comprenant comme premier élément un cadre sans identifiant d'une image h, comme deuxième élément un cadre sans identifiant d'une image i, avec $i > h$ et comme troisième élément un cadre sans identifiant d'une image j avec $j > i$;
- une étape E8 de calcul d'un indice d'erreur de cohérence pour chaque multipliet séquentiel candidat ;
- une étape E9 d'attribution au multipliet candidat ayant l'indice d'erreur de cohérence le plus faible, et notamment inférieur à un seuil prédéterminé, d'un autre identifiant unique de suivi et association sous ledit autre identifiant unique de suivi desdits k cadres des n images du multipliet ; et
- une étape E10 de détermination d'une vitesse courante dudit autre objet suivi.

[0043] Les étapes E2 de détection d'objet et E3 de délimitation de chaque objet détecté sont exécutées sur chaque image reçue, la détection des objets dans chaque image étant notamment réalisée de manière connue par intelligence artificielle, au moyen de réseaux de neurones convolutif, tel que décrit dans l'article You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, de Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick et Ali Farhadi, dans 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA, 2016, pages 779-788.

[0044] Ces deux étapes E2 de détection d'objet et E3 de délimitation de chaque objet détecté peuvent être exécutées simultanément, notamment par un seul réseau de neurones, l'ordre de ces deux étapes peut également être inversé.

[0045] Les étapes ultérieures, de E4 à E9 sont plus précisément dédiées à la phase d'initialisation du suivi d'objet, c'est-à-dire quand un nouvel objet apparaît dans le champ de vision du dispositif d'acquisition et n'a pas encore d'identifiant de suivi ni de vitesse connue.

- [0046] L'étape E4 d'association par appariement séquentiel est connue et repose sur une comparaison de chevauchement de cadres de délimitation entre lesdites deux images, et ensuite sur association d'un cadre de délimitation de la première image à un cadre de délimitation de la deuxième image en fonction d'un seuil minimal de chevauchement.
- [0047] L'évaluation du chevauchement repose sur une analyse de proximité et/ou de taux de recouvrement, par exemple au moyen de l'évaluation du rapport de l'aire de l'intersection des cadres divisé par l'aire de l'union des cadres (également dénommée IoU) entre les deux cadres appartenant chacun à une desdites deux images notamment avec un seuil de 0,3.
- [0048] Si le nouvel objet apparu dans le champ de vision du dispositif d'acquisition est notamment trop rapide ou n'est par exemple pas détecté dans la deuxième image acquise, car l'objet est par exemple caché par un autre objet, l'objet ne pourra alors être associé à aucun cadre lors de cette étape E4 d'association. A l'issue de l'étape E4, il demeurera alors des cadres non appariés dans les images.
- [0049] Les étapes suivantes E6 à E9 visent à réduire, dans cette phase d'initialisation, le nombre de cadres non appariés restant dans les images, et ainsi améliorer le suivi des objets dans la séquence. Pour ce faire, on procède itérativement aux étapes E6 à E9, si bien qu'une fois que le multiplet à indice d'erreur de cohérence le plus faible et préférentiellement inférieur à un seuil d'erreur de cohérence prédéterminé, les cadres de ce multiplet sont associés sous un identifiant unique de suivi propre à cet objet, la vitesse de cet objet déterminé, puis de manière itérative on détermine le multiplet suivant le plus prometteur sur la base des cadres sans identifiant restant et ainsi de suite jusqu'à ce que plus aucun multiplet ne satisfasse la condition liée au seuil d'erreur de cohérence.
- [0050] Ce procédé permet de mieux initialiser le suivi des nouveaux objets, ce qui revêt toute son importance à la mise en route du système mais aussi de manière continue lorsqu'un nouvel objet apparaît dans le champ de vision du dispositif d'acquisition, car sans initialisation du traceur l'objet ne peut pas être suivi.
- [0051] En effet, cette initialisation par multiplet (k-uplets avec k supérieur ou égal à 3) permet de mieux suivre les objets rapides pour lesquels une phase d'initialisation basée sur une analyse de chevauchement n'aboutissait pas, tout en garantissant la robustesse et en évitant les appariements erronés puisque s'il serait probable d'avoir deux détections consécutives cohérentes pour initialiser un traceur alors qu'en réalité, ces détections ne correspondent pas au même objet, il est beaucoup moins probable que trois ou plus détections consécutives (quand bien même les images comportant chacune de ces détections ne sont pas consécutives) soient cohérentes par hasard. Préférentiellement, k est choisi proche de n, par exemple pour n=6, k pourrait être égal à 4
- [0052] La [Fig.2] illustre l'application de l'invention au suivi d'objet en mouvement et plus

précisément ici de véhicules dans le cadre du contrôle routier néanmoins d'autres applications sont envisageables, notamment pour d'autre type de véhicules que des automobiles. Sur la figure est représentée une image prise au temps t_3 à laquelle ont été superposés :

- le cadre d_1 de délimitation de l'objet détecté dans l'image t_1 , qui est ici la première image dans laquelle un objet est détecté,
- le cadre d_2 de délimitation de l'objet détecté dans l'image t_2 ,
- le cadre d_3 de délimitation de l'objet détecté dans l'image t_3 .

[0053] En appliquant la méthode classique d'initialisation d'un traceur, s'arrêtant à l'étape E4 aucune association n'aurait pu ici être effectuée puisqu'aucun chevauchement n'existe entre lesdits cadres d_1 et d_2 (ni d_2 et d_3) des trois images acquises consécutivement. Au temps t_3 l'objet n'aurait donc toujours pas pu être suivi.

[0054] Dans l'exemple illustré ici, in fine, après quelques pas de temps supplémentaires la perspective aurait pu permettre une initialisation du suivi de l'objet en appliquant l'étape E4 car un recouvrement aurait fini par exister mais ceci n'est pas toujours le cas et l'initialisation est alors potentiellement effectuée trop tardivement pour dresser un procès-verbal avec les informations de plaques requises.

[0055] Le procédé se poursuit alors avec l'étape E6 (puisque ici aucun objet n'a pu être suivi, l'étape E5 est donc sans objet) de détermination de cadre de délimitation d'objet détecté sans identifiant associé parmi les trois images; c'est-à-dire ici les cadres d_1 , d_2 et d_3 .

[0056] Ici l'application de l'étape E7 de détermination d'un ensemble de multipléts séquentiels candidats desdits cadres de délimitation d'objet détecté sans identifiant, ne concerne qu'un triplet (d_1, d_2, d_3). Une détection ayant pu être faite sur chaque image, il y a ici autant de cadres que d'images.

[0057] Selon le mode de réalisation illustré en [Fig.3], à l'étape E8 l'indice d'erreur de cohérence pour ce triplet séquentiel candidat est ici calculé en fonction de 2 vecteurs v_1 , v_2 représentés sous forme de flèches et reliant chacun le point de référence d'un élément au point de référence de l'élément suivant, lesdits vecteurs v_1 , v_2 étant notamment fonction d'une différence de temps entre les acquisitions des deux images, en appelant

- premier vecteur v_1 , le vecteur reliant le point de référence du premier élément d_1 et le point de référence du deuxième élément d_2 du triplet, ledit premier vecteur étant notamment fonction d'une différence de temps entre les deux acquisitions des images h et i , et ;

- deuxième vecteur v_2 , le vecteur reliant le point de référence du deuxième élément d_2 et le point de référence du troisième élément d_3 du multipléts, ledit deuxième vecteur étant notamment fonction d'une différence de temps entre les deux acquisitions

des images i et j .

[0058] Plus précisément le calcul de l'indice d'erreur de cohérence IEC est ici fonction d'un angle α entre lesdits premier v_1 et deuxième v_2 vecteurs, et notamment d'un rapport entre le premier v_1 et le deuxième v_2 vecteur, tel que $IEC = \left(1 - \cos(\alpha)\right) \left|1 - \frac{\|v_1\|}{\|v_2\|}\right|$.

[0059] L'angle α entre les deux vecteurs v_1 , v_2 permet d'apprécier leur colinéarité, il est représenté entre le vecteur v_2 et la ligne en trait pointillé colinéaire à v_1 . Le premier facteur $1 - \cos(\alpha)$ exprimant que les deux vecteurs doivent être alignés, et le second facteur $\left|1 - \frac{\|v_1\|}{\|v_2\|}\right|$ exprime qu'ils doivent avoir la même norme, le rapport des vecteurs permettant d'apprécier leur grandeur relative.

[0060] La prise en compte de la différence de temps en définissant chaque vecteur comme le ratio d'une distance entre deux points de référence sur la différence de temps entre les acquisitions des deux images afférentes permet de dimensionner un vecteur vitesse, et d'être ainsi robuste aux cas dans lesquels les cadres du multiplet proviendraient d'images non acquises régulièrement ou non consécutives acquises avec régularité (cas d'une non détection sur une des images acquises).

[0061] Dans l'exemple illustré en [Fig.3] le point de référence choisi du cadre est le centre dudit cadre.

[0062] Puis l'exécution de l'étape E9 attribuée au multiplet candidat ayant l'indice d'erreur de cohérence IEC le plus faible et inférieur à un seuil d'erreur de cohérence prédéterminé un autre identifiant unique de suivi et associe sous ledit autre identifiant unique de suivi propre à ce nouvel objet suivi lesdits cadres d_1, d_2 et d_3 des n images du triplet.

[0063] Dans l'exemple illustré, le triplet cohérent est un triplet tel que les trois cadres d_1 , d_2 , d_3 de détection sont alignés et uniformément distants, avec un seuil d'erreur de cohérence prédéterminé. Pour l'application du procédé de suivi à des véhicules dans le cadre du contrôle routier le seuil d'erreur de cohérence prédéterminé est par exemple ici fixé à 0.01 pour $k=3$ et une vitesse d'acquisition de 15 images par seconde, puisque dans ce cas d'application si on considère un temps court de l'ordre de 0,1s, à grande vitesse il n'est pas possible pour le véhicule de changer sensiblement de direction ou de vitesse.

[0064] Selon un autre mode de réalisation, l'indice d'erreur de cohérence IEC est calculé selon $IEC(v_1, \dots, v_{k-1}) = \frac{1}{k-1} \sum_i \frac{\|v_i - \bar{v}\|}{\|\bar{v}\|}$ avec \bar{v} la moyenne desdits $k-1$ vecteurs v_i , ce qui se serait écrit dans le cas d'un triplet : $IEC(v_1, v_2) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\|v_1 - \bar{v}\|}{\|\bar{v}\|} + \frac{\|v_2 - \bar{v}\|}{\|\bar{v}\|} \right)$

[0065] Cette hypothèse de cohérence peut également être exprimée par le fait que les vecteurs v_1 et v_2 doivent être approximativement les mêmes, et donc être égales à leur

moyenne. Un autre intérêt de ce mode de calcul de l'indice d'erreur de cohérence IEC est qu'elle est symétrique par rapport à v_1 et v_2 , et ne s'annule que lorsque $v_1=v_2$.

[0066] Pour des raisons de clarté, le procédé de suivi d'objets selon l'invention a été ici illustré avec un triplet mais se généralise aisément aux quadruplet, quintuplet, etc.

[0067] L'intérêt de considérer des k-uplets avec k supérieur à 3 est double :

- plus le nombre d'éléments du multiplet est élevé plus le niveau de confiance dans les traceurs initialisés de cette manière est élevé, car ils sont moins susceptibles d'être le fruit du hasard ;

- ils permettent qu'une détection manque (ce qui peut arriver fréquemment, car le détecteur n'est pas parfait) : par exemple, pour une initialisation de quadruplets, parmi les quatre derniers ensembles de détections, on peut regarder les quadruplets consécutifs, mais aussi les ensembles de triplets dans lequel les cadres proviennent de trois sur quatre acquisitions et n'appartiennent donc pas à des images acquises toutes consécutivement. En effet, les v_i étant définis par le rapport entre une distance et une différence de temps, leur estimation n'est pas perturbée en les calculant sur des trames non consécutives.

[0068] Préférentiellement, k est inférieur ou égal à 7 de manière à ne pas augmenter sensiblement le temps de calcul, ni retarder trop le moment de l'initialisation et de manière à maintenir la cohérence avec l'hypothèse d'alignement qui pourrait ne plus être appropriée à l'application si k est trop élevé (par exemple un véhicule pourrait tourner).

[0069] Dans le cas où le dispositif d'acquisition est mobile, la connaissance de sa vitesse instantanée est requise (estimée ou mesurée) de manière à compenser le repère de positionnement par le mouvement du dispositif.

[0070] La [Fig.4] est un exemple de bloc-diagramme schématique d'un système 10 de suivi d'objets multiples comportant un dispositif 100 d'acquisition d'images comprenant un dispositif de traitement de l'information 106 dans lequel un produit programme d'ordinateur selon l'invention est mémorisé. Le dispositif de traitement de l'information 106 est apte à la mise en œuvre d'un ou plusieurs modes de réalisation de l'invention.

[0071] Le système 100 d'acquisition est contrôlé par un dispositif de traitement de l'information 106 qui permet par exemple de contrôler la caméra monoculaire 102. Le dispositif de traitement de l'information 106 reçoit et traite les images reçues de la caméra 102. Le dispositif de traitement de l'information 106 est typiquement un périphérique tel qu'un micro-ordinateur, un terminal mobile de télécommunication ou tout autre dispositif permettant l'exécution d'un programme informatique en charge du contrôle de la caméra, de l'acquisition des images et des différentes étapes du procédé selon l'invention.

- [0072] Dans certains modes de réalisation, la caméra monoculaire 102 peut être complétée ou remplacée par des capteurs annexes contribuant à l'acquisition d'images en trois dimensions, comme, par exemple un capteur de temps de vol, un radar, un lidar ou tout autre capteur.
- [0073] Le dispositif 106 comporte un bus de communication connecté à:
- une unité centrale de traitement 601, tel qu'un microprocesseur, notée CPU;
 - une mémoire à accès aléatoire 602, notée RAM, pour mémoriser le code exécutable du procédé de réalisation de l'invention ainsi que les registres adaptés à enregistrer des variables et des paramètres nécessaires pour la mise en œuvre du procédé selon des modes de réalisation de l'invention ; la capacité de mémoire du dispositif peut être complétée par une mémoire RAM optionnelle connectée à un port d'extension, par exemple;
 - une mémoire morte 603, notée ROM, pour stocker des programmes informatiques pour la mise en œuvre des modes de réalisation de l'invention;
 - une interface réseau 604, notée NET, est normalement connectée à un réseau de communication sur lequel des données numériques à traiter sont transmis ou reçus. L'interface réseau 604 peut être une seule interface réseau, ou composée d'un ensemble d'interfaces réseau différentes (par exemple filaire et sans fil, interfaces ou différents types d'interfaces filaires ou sans fil). Des paquets de données sont envoyés sur l'interface réseau pour la transmission ou sont lues à partir de l'interface de réseau pour la réception sous le contrôle de l'application logiciel exécuté dans le processeur 601 ;
 - une interface utilisateur 605 pour recevoir des entrées d'un utilisateur ou pour afficher des informations à un utilisateur ;
 - un dispositif de stockage 606 tel que décrit dans l'invention et noté HD ;
 - un module d'entrée/sortie 607 pour la réception / l'envoi de données depuis / vers des périphériques externes tels que disque dur, support de stockage amovible ou autres.
- [0074] Le code exécutable peut être stocké dans une mémoire non volatile 603, par exemple une mémoire flash ou une mémoire morte, sur le dispositif de stockage 606 ou sur un support amovible numérique tel que par exemple un disque. Selon une variante, le code exécutable des programmes peut être reçu au moyen d'un réseau de communication, via l'interface réseau 604, afin d'être stocké dans l'un des moyens de stockage du dispositif de communication 600, tel que le dispositif de stockage 606, avant d'être exécuté.
- [0075] L'unité centrale de traitement 601 est adaptée pour commander et diriger l'exécution des instructions ou des portions de code logiciel du programme ou des programmes selon l'un des modes de réalisation de l'invention, instructions qui sont stockées dans l'un des moyens de stockage précités. Après la mise sous tension, le CPU 601 est capable d'exécuter des instructions de la mémoire RAM principale 602, relatives à une

application logicielle. Un tel logiciel, lorsqu'il est exécuté par le processeur 601, provoque l'exécution des procédés décrits.

[0076] Dans ce mode de réalisation, le dispositif de traitement de l'information 106 est un appareil programmable qui utilise un logiciel pour mettre en œuvre l'invention. Toutefois, à titre subsidiaire, la présente invention peut être mise en œuvre dans le matériel (par exemple, sous la forme d'un circuit intégré spécifique ou ASIC (de l'anglais application-specific integrated circuit) ou sous la forme d'un composant logique programmable ou FPGA (de l'anglais field-programmable gate array).

[0077] Bien que la présente invention ait été décrite ci-dessus en référence à des modes de réalisation spécifiques, la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation spécifiques, et les modifications qui se trouvent dans le champ d'application de la présente invention seront évidentes pour une personne versée dans l'art.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de suivi d'objets multiples dans des acquisitions temporelles d'images, notamment des vidéos monoculaires, composées d'une séquence temporelle d'images acquises consécutivement, ledit procédé comprenant :

- une étape (E1) de réception de n images acquises consécutivement de ladite séquence, n étant supérieur ou égal à 3;
- une étape (E2) de détection d'objet dans chacune desdites images, notamment au moyen d'un réseau de neurones convolutif;
- une étape (E3) de délimitation de l'objet détecté, notamment par détermination d'un cadre de délimitation englobant ledit au moins un objet détecté, dans un référentiel de l'image dans laquelle ledit objet a été détecté ;
- une étape (E4) d'association sous un identifiant unique de suivi propre à un objet suivi d'un cadre de délimitation d'une première image de la séquence d'images à un cadre de délimitation d'une deuxième image de ladite séquence, lesdites première et deuxième images étant notamment consécutives, en fonction d'un seuil minimal de chevauchement ;
- une étape (E5) de détermination d'une vitesse courante dudit objet suivi ;

ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

- une étape (E6) de détermination de cadre de délimitation d'objet détecté sans identifiant associé parmi les n images;
- une étape (E7) de détermination d'un ensemble de multiplets séquentiels candidats de k cadres (d_1, d_2, d_3) de délimitation d'objet détecté sans identifiant, avec k supérieur ou égal à 3 et k inférieur ou égal à n , chaque multiplet comprenant comme premier élément un cadre (d_1) sans identifiant d'une image h parmi les n images, comme deuxième élément un cadre (d_2) sans identifiant d'une image i parmi les n images, avec i supérieur à h et comme troisième élément un cadre (d_3) sans identifiant d'une image j parmi les n images, avec j supérieur à i ;
- une étape (E8) de calcul d'un indice d'erreur de cohérence (IEC) pour chaque multiplet séquentiel candidat ;
- une étape (E9) d'attribution au multiplet candidat ayant l'indice d'erreur de cohérence (IEC) le plus faible, et notamment inférieur à un seuil d'erreur de cohérence prédéterminé, d'un autre identifiant unique de suivi propre à un autre objet suivi et association sous ledit autre

identifiant unique de suivi desdits k cadres (d_1, d_2, d_3) du multiplet ; et
 - une étape (E10) de détermination d'une vitesse courante dudit autre objet suivi.

- [Revendication 2] Procédé de suivi d'objets multiples selon la revendication précédente caractérisé en ce que pour chaque multiplet candidat l'indice d'erreur de cohérence (IEC) est calculé en fonction d'un positionnement relatif desdits cadres (d_1, d_2, d_3) sans identifiant dudit multiplet.
- [Revendication 3] Procédé de suivi d'objets multiples selon la revendication précédente caractérisé en ce que le positionnement relatif desdits cadres (d_1, d_2, d_3) sans identifiant dudit multiplet est déterminé relativement au positionnement d'un point unique de référence propre à chacun desdits cadres (d_1, d_2, d_3) sans identifiant.
- [Revendication 4] Procédé de suivi d'objets multiples selon la revendication précédente caractérisé en ce que le point unique de référence de chacun desdits cadres (d_1, d_2, d_3) sans identifiant est le centre de chacun desdits cadres (d_1, d_2, d_3) sans identifiant.
- [Revendication 5] Procédé de suivi d'objets multiples selon l'une quelconque des revendications 3, 4 caractérisé en ce que lesdits points uniques de référence propres à chacun desdits cadres (d_1, d_2, d_3) sans identifiant sont déterminés par un réseau de neurones convolutif ayant appris sur une base d'images comportant des objets tronqués.
- [Revendication 6] Procédé de suivi d'objets multiples selon l'une quelconque des revendications 3 à 5 caractérisé en ce que l'indice d'erreur de cohérence (IEC) est calculé en fonction de $k-1$ vecteurs (v_1, v_2) reliant chacun le point de référence d'un élément au point de référence de l'élément suivant, lesdits vecteurs (v_1, v_2) étant notamment fonction d'une différence de temps entre les acquisitions des deux images, en appelant
 - premier vecteur (v_1) , le vecteur reliant le point de référence du premier élément (d_1) et le point de référence du deuxième élément (d_2) du multiplet, ledit premier vecteur étant notamment fonction d'une différence de temps entre les deux acquisitions des images h et i , et ;
 - deuxième vecteur (v_2), le vecteur reliant le point de référence du deuxième élément (d_2) et le point de référence du troisième élément (d_3) du multiplet, ledit deuxième vecteur étant notamment fonction d'une différence de temps entre les deux acquisitions des images i et j .
- [Revendication 7] Procédé de suivi d'objets multiples selon la revendication précédente caractérisé en ce que l'indice d'erreur de cohérence (IEC) est calculé en fonction d'un angle (α) entre lesdits premier (v_1) et deuxième (v_2)

vecteurs, et notamment d'un rapport entre le premier et le deuxième vecteur, tel que $IEC = (1 - \cos(\alpha)) \left| 1 - \frac{|v_1|}{|v_2|} \right|$.

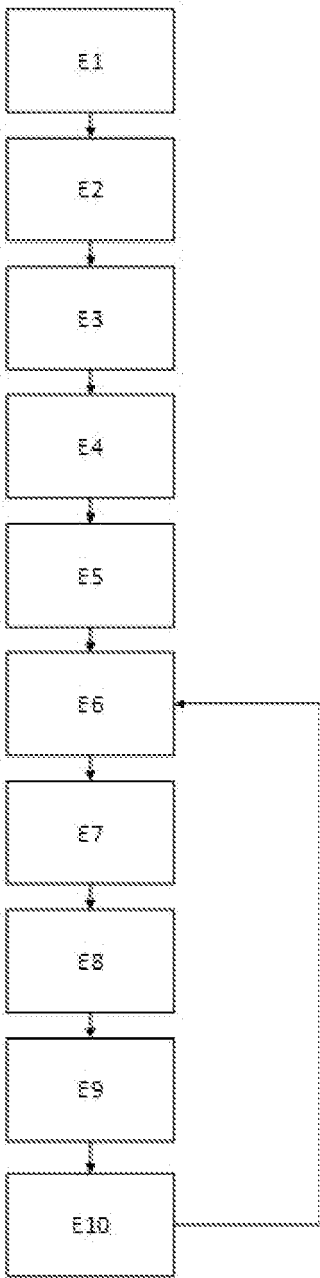
[Revendication 8] Procédé de suivi d'objets multiples selon la revendication 6 caractérisé en ce que l'indice d'erreur de cohérence (IEC) est calculé en fonction de la moyenne \bar{v} desdits $k-1$ vecteurs (v_i), tel que

$$IEC(v_1, \dots, v_{k-1}) = \frac{1}{k-1} \sum_i \frac{|v_i - \bar{v}|}{|\bar{v}|}.$$

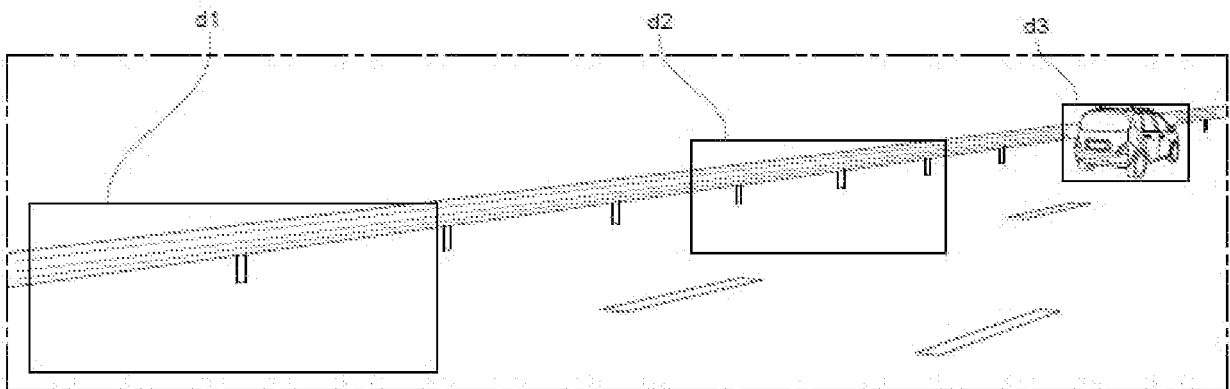
[Revendication 9] Procédé de suivi d'objets multiples selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que lesdits objets détectés sont des véhicules ou des piétons.

[Revendication 10] Produit programme d'ordinateur comprenant les instructions de programme mettant en œuvre les étapes du procédé de détermination selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, lorsque les instructions de programme sont exécutées par un ordinateur.

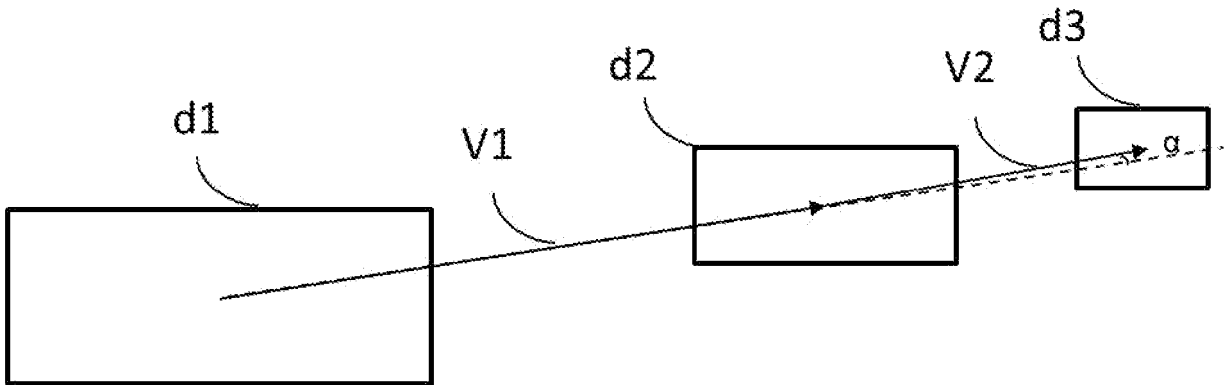
[Fig. 1]



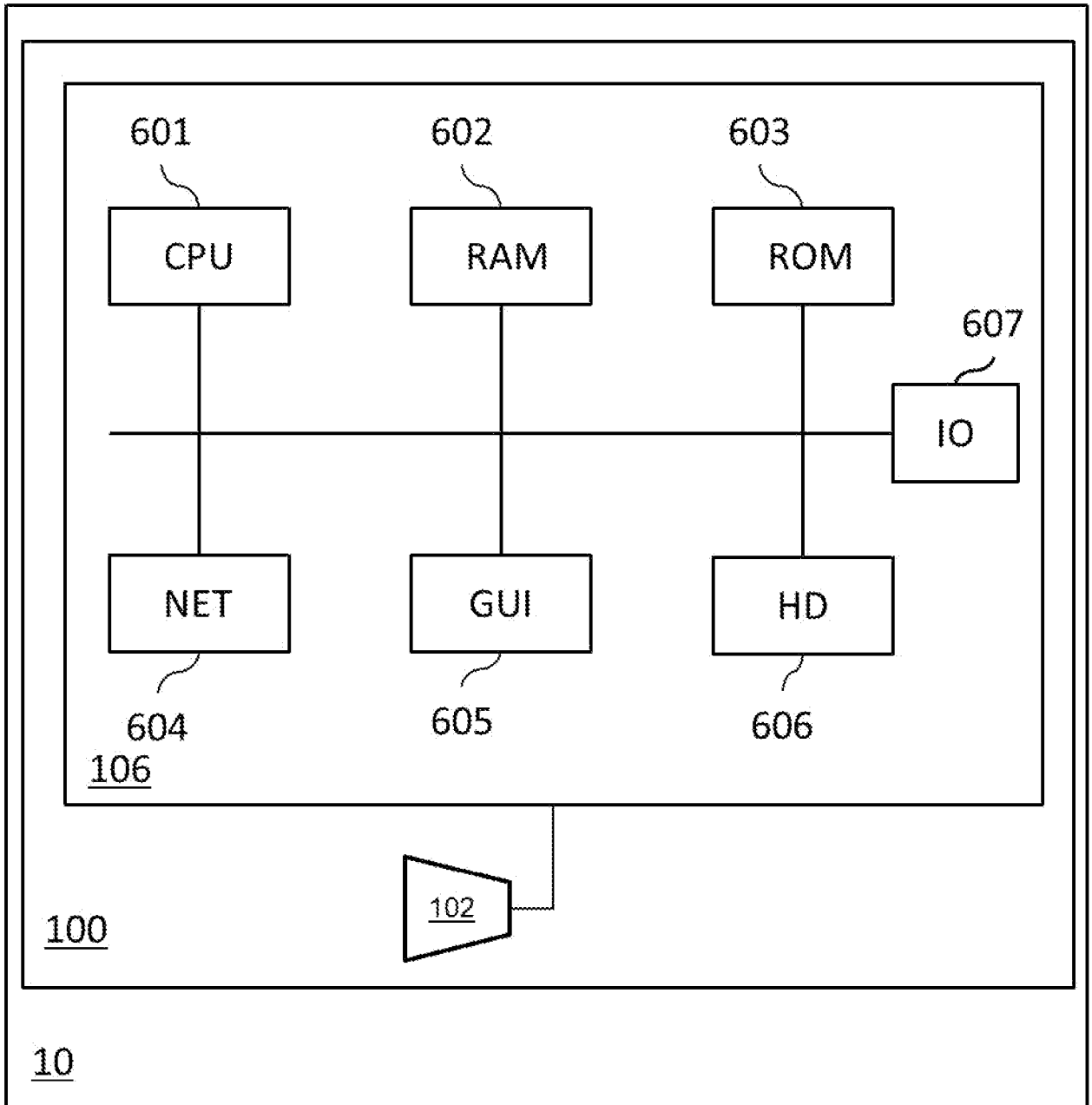
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

**FA 917074
FR 2302975**

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 3 096 292 A1 (XEROX CORP [US]) 23 novembre 2016 (2016-11-23)	1-5, 9, 10	G06N 3/0464 G06T 1/00
A	* le document en entier * * figures 1-3 * * alinéas [0015] - [0028] * * alinéas [0031] - [0032] * * alinéas [0046] - [0053] * * alinéas [0051] - [0053] * * alinéas [0073] - [0074] * * alinéa [0092] * -----	6-8	G06T 7/20 G08G 1/01
A	HUANG XIAOHUI XIAOHUIHUANG@UFL.EDU ET AL: "Intelligent Intersection", ACM TRANSACTIONS ON SPATIAL ALGORITHMS AND SYSTEMS, ACM, 2 PENN PLAZA, SUITE 701 NEW YORK NY 10121-0701 USA, vol. 6, no. 2, 24 janvier 2020 (2020-01-24), pages 1-28, XP058692423, ISSN: 2374-0353, DOI: 10.1145/3373647 * le document en entier * * Metric Learning for vehicle reidentification; pages 9-10 * -----	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G06V G06T G06N G08G
A	US 2019/065895 A1 (WANG LEI [US] ET AL) 28 février 2019 (2019-02-28) * le document en entier * * figures 1-3, 5B * * alinéa [0004] * * alinéas [0017] - [0018] * * alinéas [0062] - [0077], [0090] * -----	1-10	
A	KR 2018 0097944 A (DAEGU GYEONGBUK INST SCIENCE & TECH [KR]) 3 septembre 2018 (2018-09-03) * le document en entier * * alinéas [0001], [0014] - [0015] * * alinéas [0055] - [0065] * -----	1-10	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
28 septembre 2023		Thollot, Julien	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2302975 FA 917074**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **28-09-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 3096292 A1	23-11-2016	EP 3096292 A1	23-11-2016
		JP 2016219004 A	22-12-2016
		US 9443320 B1	13-09-2016

US 2019065895 A1	28-02-2019	CN 111033515 A	17-04-2020
		US 2019065895 A1	28-02-2019
		WO 2019046077 A1	07-03-2019

KR 20180097944 A	03-09-2018	AUCUN	
