

(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
31 janvier 2019 (31.01.2019)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2019/020902 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G06T 7/269 (2017.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2018/051803

(22) Date de dépôt international :
16 juillet 2018 (16.07.2018)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1757138 27 juillet 2017 (27.07.2017) FR

(71) Déposants : CONTINENTAL AUTOMOTIVE
FRANCE [FR/FR] ; 1, Avenue Paul Ourliac, Intellectual
Property, 31100 Toulouse (FR). CONTINENTAL AU-
TOMOTIVE GMBH [DE/DE] ; Vahrenwalderstrasse, 9,
30165 Hanovre (DE).

(72) Inventeurs : GARCIA, Lucien ; 7, place Marie Curie,
31170 Tournefeuille (FR). FERRET, Gation ; 43, rue Saint
Rome, 31000 Toulouse (FR).

(74) Mandataire : CONTINENTAL AUTOMOTIVE
FRANCE ; 1, Avenue Paul Ourliac, Intellectual Property,
31100 Toulouse (FR).

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

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM,
KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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, MK,
MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

(54) Title: METHOD FOR ESTIMATING THE MOVEMENT OF A POINT IN A SEQUENCE OF IMAGES

(54) Titre : PROCÉDÉ D'ESTIMATION DU MOUVEMENT D'UN POINT DANS UNE SÉQUENCE D'IMAGES

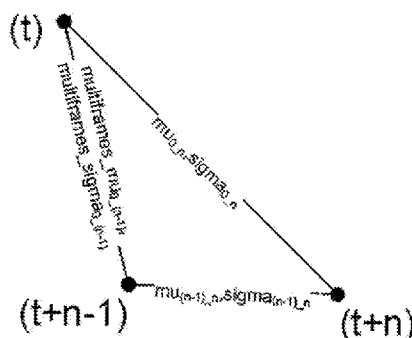


FIGURE 4

(57) Abstract: The present invention relates to a method for estimating the movement of at least one point in a sequence of images that varies over time, said sequence comprising at least a first image (t), a second image (t+n-1) and a third image (t+n). The method comprises a step of determining, in the third image (t+n), a fourth pixel zone corresponding to said point by calculating the optical flow between the first image (t) and the third image (t+n) from a first predetermined pixel zone, and a step of determining, in the third image (t+n), a fifth pixel zone, referred to as "refined zone", from a third predetermined pixel zone and the fourth predetermined pixel zone.

(57) Abrégé : La présente invention a pour objet un procédé d'estimation du mouvement d'au moins un point dans une séquence d'images variant dans le temps, ladite séquence comprenant au moins une première image (t), une deuxième image (t+n-1) et une troisième image (t+n). Le procédé comprend une étape de détermination, dans la troisième image (t+n), d'une quatrième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la première image (t) et la troisième image (t+n) à partir d'une première zone de pixels déterminée, et une étape de détermination, dans la troisième image (t+n), d'une cinquième zone de pixels, dite «zone affinée», à partir d'une troisième zone de pixels déterminée et de la quatrième zone de pixels déterminée.

(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))

Procédé d'estimation du mouvement d'un point dans une séquence d'images

La présente invention se rapporte au domaine du traitement d'images et concerne plus précisément un procédé d'estimation du mouvement d'un point dans une séquence d'images variant dans le temps.

L'invention vise en particulier à suivre un point de manière fiable et précise
5 dans une pluralité d'images consécutives. L'invention s'applique notamment à un véhicule automobile comprenant une caméra embarquée afin, par exemple, de reconstruire en trois dimensions des éléments de l'environnement du véhicule ou bien de déterminer la trajectoire du véhicule.

En traitement d'images, le flot optique est une approximation du mouvement
10 des pixels correspondant à un même objet observé dans une séquence d'images variant dans le temps. Le flot optique permet notamment de suivre un point représenté dans la séquence d'images afin, par exemple, de détecter le mouvement du point dans la séquence d'images, de réaliser une segmentation d'un objet associé au point suivi, de réaliser des calculs de temps de collision entre le véhicule et un objet associé au point
15 suivi (par exemple un autre véhicule), etc.

De manière connue, un flot optique correspond au mouvement d'un point entre deux images et s'exprime comme un vecteur de déplacement du point entre lesdites deux images.

Dans un véhicule automobile, il est connu d'utiliser le flot optique pour suivre
20 des points dans des images générées par une caméra vidéo montée dans le véhicule. Un tel suivi permet de reconstruire l'environnement tridimensionnel observé par le véhicule ou bien la trajectoire du véhicule afin notamment d'assister le conducteur dans sa conduite. Par exemple, la reconstruction de la trajectoire et/ou de l'environnement tridimensionnel du véhicule permettent respectivement le suivi des lignes de marquage au
25 sol ou la détection d'un obstacle pouvant déclencher un freinage d'urgence du véhicule.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour déterminer le flot optique. Un exemple de méthode connue, intitulée méthode de Lukas-Kanade, est basée sur un algorithme de minimisation au sens des moindres carrés entre deux sections d'images consécutives de la séquence d'images.

30 De manière connue, on constate que le niveau d'erreur relatif à la valeur du flot associé à une telle estimation est d'autant plus élevé, c'est-à-dire que la qualité du flot optique est d'autant plus faible, que la vitesse du véhicule est faible ou que le point que l'on suit est éloigné, c'est-à-dire peu dynamique dans la séquence d'images. Aussi, dans ce cas, le suivi d'un point entre deux images peut conduire à déterminer une position
35 erronée de l'objet. En effet, le flot optique d'un point étant estimé entre deux images

consécutives, il en résulte que les erreurs sur les flots optiques de plusieurs images consécutives, dans lesquelles on suit un même point, se cumulent au fil des images, entraînant une dérive dans le suivi du point. Ainsi, la reconstruction 3D de l'environnement du véhicule ou la détermination de la trajectoire du véhicule peuvent être significativement
5 erronées de sorte que cela présente un danger important lors de l'assistance à la conduite fournie au conducteur.

La présente invention vise à remédier en partie à ces inconvénients en proposant une solution fiable et efficace pour réduire la dérive générée par l'accumulation d'erreurs sur les flots optiques calculés pour une séquence d'images et augmenter la
10 précision dans le suivi d'un point dans une séquence d'images.

A cette fin, l'invention a tout d'abord pour objet un procédé d'estimation du mouvement d'au moins un point dans une séquence d'images variant dans le temps, ladite séquence comprenant au moins une première image, une deuxième image et une troisième image, la deuxième image étant postérieure à la première image et la troisième
15 image étant postérieure à la deuxième image, le procédé comprenant :

- une étape de détermination, dans la première image, d'au moins une première zone de pixels correspondant à un point à suivre,
 - une étape de détermination, dans la deuxième image, d'une deuxième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la première
20 image et la deuxième image à partir de la première zone de pixels déterminée,
 - une étape de détermination, dans la troisième image, d'une troisième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la deuxième image et la troisième image à partir de la deuxième zone de pixels déterminée.
- Le procédé est remarquable en ce qu'il comprend en outre :
- 25 • une étape de détermination, dans la troisième image, d'une quatrième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la première image et la troisième image à partir de la première zone de pixels déterminée et
 - une étape de détermination, dans la troisième image, d'une cinquième zone de pixels, dite « zone affinée », à partir de la troisième zone de pixels déterminée et
30 de la quatrième zone de pixels déterminée.

Ainsi, en utilisant une pluralité de flots optiques calculés au moins à partir de trois images différentes pour déterminer la position du point dans la troisième image, le procédé selon l'invention permet d'éviter le cumul des erreurs d'estimation de flots optiques successifs qui est obtenu lors du suivi seulement basé sur des estimations de
35 flots optiques entre paires d'images successives.

De préférence, la détermination de la cinquième zone de pixels est réalisée en moyennant la troisième zone de pixels déterminée et la quatrième zone de pixels déterminée.

5 Dans un mode de réalisation, les trois images sont consécutives dans la séquence d'images.

En variante, des images intermédiaires peuvent exister entre la première et/ou la deuxième image et/ou la troisième image et le procédé peut alors comprendre une étape supplémentaire d'estimation du flot optique entre cette image supplémentaire et au moins deux des trois images mentionnées précédemment, donnant ainsi une nouvelle
10 mesure de la position du point dans la troisième image.

De manière avantageuse, la deuxième image et la troisième image sont consécutives dans la séquence d'images.

Dans un mode de réalisation, la première image, la deuxième image et la troisième image sont consécutives dans la séquence d'images.

15 Selon un aspect de l'invention, le procédé comprend une étape de stockage de la première zone de pixels.

Selon un aspect de l'invention, le procédé comprend une étape de stockage de la deuxième zone de pixels,

20 Selon un aspect de l'invention, le procédé comprend une étape de stockage de la troisième zone de pixels.

Selon un aspect de l'invention, le procédé comprend une étape de stockage de la quatrième zone de pixels.

25 Selon un aspect de l'invention, le procédé comprend une étape de stockage de la cinquième zone de pixels.

Dans un mode de réalisation, la première zone de pixels constitue une zone de pixels de référence servant de base à la détermination d'une pluralité de troisièmes zones de pixels et de quatrièmes zones de pixels différentes à partir d'une pluralité de deuxièmes images et de troisièmes images différentes.

30 Avantageusement, la zone de pixels de référence est utilisée tant que la distance entre la troisième zone de pixels et la quatrième zone de pixels est inférieure à un seuil de distance prédéterminé.

De préférence, le seuil de distance prédéterminé correspond au niveau de bruit de la troisième image.

35 La distance entre la troisième zone de pixels et la quatrième zone de pixels peut être déterminée en utilisant une distance de Mahalanobis (distance normalisée par les variances) comparée à une valeur d'incertitude donnée par une distribution dite de chi-2 (« chi carré ») à 2 degrés de liberté.

Avantageusement encore, la distance entre la troisième zone de pixels et la quatrième zone de pixels étant inférieure au seuil prédéterminé, la zone de pixels de référence est utilisée tant que l'apparence entre la première zone de pixels et la quatrième zone de pixels est similaire.

5 Par le terme « similaire », on entend que les pixels de la première zone de pixels et les pixels de la quatrième zone de pixels sont proches en termes de valeurs.

Dans un mode de réalisation, la similarité entre l'apparence de la première zone de pixels et l'apparence de la quatrième zone de pixels est estimée en calculant des signatures basées sur des ondelettes de Haar sur la première zone de pixels et sur la
10 quatrième zone de pixels, et en comparant respectivement lesdites signatures des pixels de chacune des zones entre elles pour déterminer si les deux zones de pixels se ressemblent suffisamment ou non. En variante, tout autre moyen adapté pour déterminer et comparer l'apparence de la première zone de pixels et l'apparence de la quatrième zone de pixels pourrait être utilisé.

15 Selon un aspect de l'invention, le procédé comprend en outre une étape de détection d'un défaut d'estimation du point entre deux images de la séquence, un tel défaut pouvant notamment correspondre à une occultation du point réel par un objet ou une disparition temporaire dudit point.

L'invention concerne également un calculateur pour véhicule automobile,
20 destiné à estimer le mouvement d'au moins un point dans une séquence d'images variant dans le temps générée par une caméra montée dans ledit véhicule, ladite séquence comprenant au moins une première image, une deuxième image et une troisième image, la deuxième image étant postérieure à la première image et la troisième image étant postérieure à la deuxième image. Le calculateur est configuré pour déterminer :

- 25
- dans la première image, au moins une première zone de pixels correspondant à un point à suivre,
 - dans la deuxième image, une deuxième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la première image et la deuxième image à partir de la première zone de pixels déterminée,
 - 30 • dans la troisième image, une troisième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la deuxième image et la troisième image à partir de la deuxième zone de pixels déterminée. Le calculateur est remarquable en ce qu'il est en outre configuré pour déterminer :
 - dans la troisième image, une quatrième zone de pixels correspondant audit point
35 en calculant le flot optique entre la première image et la troisième image à partir de la première zone de pixels déterminée, et

- dans la troisième image, une cinquième zone de pixels, dite « zone affinée », à partir de la troisième zone de pixels déterminée et de la quatrième zone de pixels déterminée.

L'invention concerne enfin un véhicule automobile comprenant une caméra et
5 un calculateur, tel que présenté précédemment, relié à ladite caméra de manière à recevoir au moins une séquence d'images capturée par la caméra afin d'estimer le mouvement d'au moins un point dans ladite séquence et permettre une assistance à la conduite du véhicule.

La **figure 1** illustre schématiquement un exemple de véhicule selon
10 l'invention.

La **figure 2** illustre schématiquement un mode de réalisation du procédé selon l'invention.

La **figure 3** illustre schématiquement un exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention à trois images consécutives.

15 La **figure 4** illustre schématiquement un exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention à trois images non-consécutives.

La **figure 5** illustre schématiquement des estimations de flot optique successives entre une image t et une image $t+n$.

La **figure 6A** illustre un premier exemple d'application.

20 La **figure 6B** illustre un deuxième exemple d'application.

La **figure 6C** illustre un troisième exemple d'application.

La **figure 6D** illustre un quatrième exemple d'application.

La **figure 6E** illustre un cinquième exemple d'application.

La **figure 6F** illustre un sixième exemple d'application.

25 La **figure 6G** illustre un septième exemple d'application.

La **figure 7** illustre schématiquement les estimations de tous les flots optiques successives entre une image t et une image $t+n$.

La **figure 8** illustre un huitième exemple d'application.

On a représenté à la **figure 1** un exemple de véhicule V selon l'invention.

30 Le véhicule V comprend un système 10 d'aide à la conduite comportant une caméra 100 montée dans le véhicule V et un calculateur 200 permettant le traitement des images capturées par ladite caméra 100.

La caméra 100 peut par exemple être une caméra de type monoculaire qui peut être montée sur la partie supérieure du pare-brise avant 1A du véhicule V de
35 manière à filmer la route 2A sur laquelle circule le véhicule V ainsi que l'environnement E du véhicule situé dans le champ de vision de la caméra 100. On notera cependant que la caméra 100 pourrait être montée à n'importe quel autre endroit adapté du véhicule 1.

De préférence, la caméra 100 et le calculateur 200 sont mis en œuvre par une même entité physique. En variante, ils pourraient constituer deux entités physiques distinctes reliées via un lien ou un réseau de communication du véhicule 1.

Le calculateur 200 est notamment destiné à estimer le mouvement d'un point
5 dans une séquence d'images capturée par la caméra 100 afin par exemple de reconstruire l'environnement tridimensionnel observé par le véhicule V ou bien la trajectoire du véhicule V pour assister le conducteur dans sa conduite.

Une séquence d'images comprend une succession d'images variant dans le temps, générées par exemple à un nombre d'au moins 16 images par seconde, par
10 exemple 16, 24, 25, 30, 50 ou 100.

En référence aux **figures 3 à 5**, la séquence d'images comprend au moins une première image, une deuxième image et une troisième image. La deuxième image est postérieure à la première image et la troisième image est postérieure à la deuxième image.

15 Dans l'exemple de la **figure 3**, les trois images (t , $t+1$, $t+2$) sont consécutives. Dans l'exemple plus général des **figures 4 et 5**, où n est un entier naturel strictement supérieur à 1, les trois images (t , $t+n-1$, $t+n$) sont consécutives lorsque $n=2$ et non-consécutives lorsque n est strictement supérieur à 2.

Le calculateur 200 est configuré pour réaliser une pluralité de tâches
20 permettant d'estimer le mouvement de points représentés dans la séquence d'images. A cette fin, le calculateur 200 comprend par exemple un ou plusieurs processeurs ou un ou plusieurs microcontrôleurs ainsi que des composants électroniques permettant de mettre en œuvre différentes fonctions, par exemple de filtrage de signaux, notamment des signaux reçus de la caméra 100.

25 Un point correspond à un élément réel de l'environnement du véhicule filmé par la caméra 100. Un point est représenté dans les images sous la forme d'un pixel ou d'une pluralité de pixels. Par exemple, dans le cadre de l'assistance à la conduite du véhicule 1, il peut être utile de suivre des points situés sur un panneau de signalisation, sur un feu de signalisation, une route 2A, un accotement, un pont, etc.

30 Dans la suite on présentera le suivi du mouvement d'un point dans une séquence d'images, mais il va de soi que plusieurs points pourraient être suivis en même temps en dupliquant la méthode décrite ci-après.

Un point est suivi dans la séquence d'image en utilisant un algorithme de flot optique. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour déterminer le flot optique. Un
35 exemple de méthode connue, intitulée méthode de Lukas-Kanade, est basée sur un algorithme de minimisation au sens des moindres carrés entre deux sections d'images consécutives de la séquence d'images. Toutefois, il va de soi que toute autre méthode de

suivi du mouvement d'un point dans une séquence d'images pourrait être utilisée dans le cadre de la présente invention.

Afin de suivre le mouvement d'un point dans une séquence d'images, le calculateur 200 est tout d'abord configuré pour déterminer dans la première image au moins une première zone de pixels correspondant à un point à suivre, pour déterminer dans la deuxième image une deuxième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la première image et la deuxième image à partir de la première zone de pixels déterminée, et pour déterminer dans la troisième image une troisième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la deuxième image et la troisième image à partir de la deuxième zone de pixels déterminée.

De manière remarquable, le calculateur 200 est également configuré pour déterminer dans la troisième image une quatrième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la première image et la troisième image à partir de la première zone de pixels déterminée, et pour déterminer dans la troisième image une cinquième zone de pixels, dite « zone affinée », à partir de la troisième zone de pixels déterminée et de la quatrième zone de pixels déterminée.

L'invention va maintenant être décrite dans sa mise en œuvre en référence à la **figure 2**.

Dans une étape E0, la caméra 100 génère tout d'abord une séquence d'images représentant l'environnement du véhicule 1, qu'elle transmet au calculateur 200.

Le bruit, dit d'extraction, généré lors du calcul de flot optique, peut être modélisé selon une distribution Gaussienne où « mu » correspond à la moyenne de la distribution et « sigma » correspond à l'écart-type de la distribution. En pratique, « mu » correspond à la position du point dans l'image selon ses coordonnées (u, v) et « sigma » correspond au bruit généré lors du calcul de flot optique (du, dv).

On note ainsi, en référence aux **figures 3 et 4** :

- (μ_{0_1} , σ_{0_1}) le couple de moyenne et d'écart-type calculé entre une image 0 et une image 1,
- (μ_{1_2} , σ_{1_2}) le couple de moyenne et d'écart-type calculé entre une image 1 et une image 2,
- ($\mu_{(n-1)_n}$, $\sigma_{(n-1)_n}$) le couple de moyenne et d'écart-type calculé entre une image (t+n-1) et une image (t+n), etc.

On note alors :

$$(\mu, \sigma) = \left(\sum_{i=1}^n \mu_{(t-1)_i}, \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{(t-1)_i}^2} \right)$$

le couple de moyenne et d'écart-type calculé entre une image (t) et une image (t-n).

Dans une étape E1, le calculateur 200 détermine (ou sélectionne), dans la première image, une première zone de pixels correspondant à un point à suivre.

Dans une étape E2, le calculateur 200 détermine, dans la deuxième image,
5 une deuxième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la première image et la deuxième image à partir de la première zone de pixels déterminée.

Dans une étape E3, le calculateur 200 détermine, dans la troisième image,
10 une troisième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la deuxième image et la troisième image à partir de la deuxième zone de pixels déterminée.

Dans une étape E4, le calculateur 200 détermine, dans la troisième image, une quatrième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la première image et la troisième image à partir de la première zone de pixels déterminée.

Enfin, dans une étape E5, le calculateur 200 détermine, dans la troisième
15 image, une cinquième zone de pixels, dite « zone affinée », à partir de la troisième zone de pixels déterminée et de la quatrième zone de pixels déterminée, de préférence en moyennant la troisième zone de pixels et la quatrième zone de pixels comme cela sera décrit ci-après.

Mise en œuvre 1 : trois images consécutives dans la séquence d'images

20 Dans un premier exemple de mise en œuvre, la première image 0, la deuxième image 1 et la troisième image 2 sont consécutives dans la séquence d'images.

En référence à la **figure 3**, on a alors :

$$(\mu_{0_1_2}, \sigma_{0_1_2}) = \left(\sum_{i=1}^2 \mu_{(i-1)_i}, \sqrt{\sum_{i=1}^2 \sigma_{(i-1)_i}^2} \right)$$

qui représente la troisième zone de pixels et l'écart-type correspondant, et :

25 $(\mu_{0_2}, \sigma_{0_2})$

qui représente la quatrième zone de pixels et l'écart-type correspondant.

On en déduit alors :

$$\text{multiframes_sigma}_{0_2} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\sigma_{0_1_2}^2} + \frac{1}{\sigma_{0_2}^2}}}$$

$$\text{multiframes_mu}_{0_2} = \text{multiframes_sigma}_{0_2}^2 * \left(\frac{\mu_{0_1_2}}{\sigma_{0_1_2}^2} + \frac{\mu_{0_2}}{\sigma_{0_2}^2} \right)$$

qui représentent la cinquième zone de pixels et l'écart-type correspondant.

Mise en œuvre 2 : trois images non nécessairement consécutives dans la séquence d'images

Dans un deuxième exemple de mise en œuvre, on considère que la première image t et la deuxième image $(t+n-1)$ ne sont pas consécutives dans la séquence d'images (n étant alors strictement supérieur à 2).

En référence à la **figure 4**, on a alors :

$$\mu_{0_{(n-1)}_n} = (\text{multiframes_}\mu_{0_{(n-1)}} + \mu_{(n-1)_n})$$

$$\sigma_{0_{(n-1)}_n} = \left(\sqrt{\text{multiframes_}\sigma_{0_{(n-1)}}^2 + \sigma_{0_n}^2} \right)$$

$$\text{multiframes_}\sigma_{0_n} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{\sigma_{0_{(n-1)}_n}^2} + \frac{1}{\sigma_{0_n}^2}}}$$

$$\text{multiframes_}\mu_{0_n} = \text{multiframes_}\sigma_{0_n}^2 * \left(\frac{\mu_{0_{(n-1)}_n}}{\sigma_{0_{(n-1)}_n}^2} + \frac{\mu_{0_n}}{\sigma_{0_n}^2} \right)$$

Dans ce mode de réalisation, l'image 0 constitue une image de référence et n peut être modifié pour utiliser successivement une pluralité de couples d'images consécutives $[(t+n-1), (t+n)]$ différentes afin d'affiner le procédé et réduire le niveau de bruit tout en permettant un suivi efficace du point.

Notamment, l'image 0 peut être choisie comme étant très ancienne dans la chronologie de la séquence par rapport au couple d'images consécutives $[(t+n-1), (t+n)]$ tout en présentant une similarité élevée avec l'image courante utilisée $(t+n)$, c'est-à-dire (en référence à la **figure 5**) que l'écart Δ de position entre la troisième zone de pixels et la quatrième zone de pixels est faible.

Lorsque l'écart $\Delta 1$ de position entre la troisième zone de pixels et la quatrième zone de pixels dépasse un seuil de distance prédéterminé ou que l'écart d'apparence $\Delta 2$ entre la première zone de pixels et la quatrième zone de pixels dépasse un seuil d'apparence prédéterminé, une autre image de la séquence peut être choisie comme image de référence.

L'écart $\Delta 1$ de position entre la troisième zone de pixels et la quatrième zone de pixels peut être déterminé en utilisant par exemple, de manière connue en soi, une distance de Mahalanobis (distance normalisée par les variances) comparée à une valeur d'incertitude donnée par une distribution dite de chi-2 à 2 degrés de liberté.

L'écart $\Delta 2$ d'apparence entre la première zone de pixels et la quatrième zone de pixels peut être calculé en déterminant une signature de chaque pixel d'une zone, par

exemple en utilisant des ondelettes de Haar, et en comparant les signatures des pixels de chacune des zones entre elles pour déterminer si les deux zones de pixels se ressemblent suffisamment ou non.

Cas d'application

5 Dans les exemples donnés ci-après, le numéro de l'image de référence est annoté avec la lettre K, l'image courante est notée n et les images intermédiaires sont notées 2, ..., n-1.

On note M (Match) le cas où une zone de pixels dans une image postérieure de la séquence, déterminée en utilisant le flot optique, correspond à une zone de pixels
10 d'une image antérieure à partir de laquelle a été calculé ledit flot optique. Par exemple, la quatrième zone de pixels déterminée dans la troisième image correspond à la première zone de pixels déterminée dans la première image lorsque l'algorithme utilisé pour le flot optique donne une correspondance valide, ce qui par exemple, dans le cas du Lukas Kanade, correspond à un résidu des moindres carrés inférieur à un seuil prédéterminé.

15 On note F (Fail) le cas où une zone de pixels dans une image postérieure de la séquence, déterminée en utilisant le flot optique, ne correspond pas à une zone de pixels d'une image antérieure à partir de laquelle a été calculé ledit flot optique. Par exemple, la première zone de pixels déterminée et la quatrième zone de pixels déterminée ne correspondent pas lorsque l'algorithme utilisé pour le flot optique donne
20 une correspondance invalide, ce qui par exemple, dans le cas du Lukas Kanade, correspond à un résidu des moindres carrés supérieur à un seuil prédéterminé.

On note FP (Fail but Predicted) le cas où la première zone de pixels déterminée et la quatrième zone de pixels déterminée ne correspondent pas, mais qu'un indice extérieur, par exemple la reconstruction tridimensionnelle à partir d'une image
25 antérieure à la quatrième image, permet d'établir une prédiction de la quatrième zone de pixels.

Exemple A

Le cas d'application illustré à la **figure 6A** correspond au cas pour lequel l'écart $\Delta 1$ de position entre la troisième zone de pixels de l'image n obtenue à partir des
30 images 1K à n-1 et la quatrième zone de pixels de l'image n obtenue directement à partir de l'image de référence 1K est inférieur ou égal au seuil prédéterminé.

Dans ce cas, la première zone de pixels (image 1K) et la quatrième zone de pixels (image n) correspondent entre elles (M) d'une part, et la deuxième zone de pixels (image n-1) et la troisième zone de pixels (image n) correspondent entre elles (M)
35 d'autre part.

Exemple B

Dans le cas d'application illustré à la **figure 6B** :

- la première zone de pixels de l'image 1 et la quatrième zone de pixels de l'image n ne correspondent pas entre elles (F) ;
- 5 • la première zone de pixels de l'image 2K et la quatrième zone de pixels (image n) correspondent entre elles (M) et dans ce cas, la deuxième image 2K constitue l'image de référence ;
- la deuxième zone de pixels de l'image n-1 et la troisième zone de pixels de l'image n correspondent entre elles (M).

10

Exemple C

Dans le cas d'application illustré à la **figure 6C** :

- la première zone de pixels de l'image 1K et la quatrième zone de pixels de l'image n correspondent entre elles (M) ;
- la deuxième zone de pixels de l'image n-1 et la troisième zone de pixels de l'image n ne correspondent pas entre elles mais une prédiction de la troisième zone de pixels existe (FP). Par le terme « prédiction », on entend ici que, grâce aux acquisitions précédentes, il est possible de faire une prédiction de la troisième zone de pixels, par exemple à l'aide d'un modèle dans lequel on considère que la vitesse de la caméra est constante et que l'objet observé est statique dans la scène (modèle connu sous le nom de « base prediction »).

15

20

Exemple D

Dans le cas d'application illustré à la **figure 6D** :

- la première zone de pixels de l'image 1 et la quatrième zone de pixels de l'image n ne correspondent pas entre elles (F) ;
- 25 • la deuxième zone de pixels de l'image n-1 et la troisième zone de pixels de l'image n ne correspondent pas entre elles (F).

Dans ce cas, on peut soit arrêter de suivre le point, soit faire de la prédiction 2D (c'est-à-dire en utilisant un modèle basé sur l'image) ou 3D (c'est-à-dire utilisant un modèle considérant l'objet dans son espace réel).

30

Exemple E

Dans le cas d'application illustré à la **figure 6E**, il n'est pas possible de déterminer la quatrième zone de pixels dans l'image n à partir de la première zone de pixels de l'image 1, par exemple parce que la quatrième zone de pixels apparaît hors de l'image n. Dans ce cas, la deuxième image 2K peut être choisie comme image de

35 référence.

Dans cet exemple :

- la première zone de pixels de l'image 2K et la quatrième zone de pixels de l'image n ne correspondent pas entre elles (F) ;
- la deuxième zone de pixels de l'image n-1 et la troisième zone de pixels de l'image n ne correspondent pas entre elles (F) car l'objet a quitté l'image n donc il n'est plus possible de continuer à réaliser des correspondances entre l'image n et les précédentes.

Exemple F

Dans le cas d'application illustré à la **figure 6F**, il n'est pas possible de déterminer la quatrième zone de pixels dans l'image n à partir de la première zone de pixels de l'image 1, ni la troisième zone de pixels de l'image n à partir de la deuxième zone de pixels de l'image n-1, par exemple parce que les troisième et quatrième zones de pixels apparaissent hors de l'image n.

Dans ce cas, on peut arrêter de suivre le point à partir de l'image n.

Exemple G

Dans le cas d'application illustré à la **figure 6G**, il n'est pas possible de déterminer la quatrième zone de pixels dans l'image n à partir de la première zone de pixels de l'image 1 (cases grisées) car le bruit généré par le calcul du flot optique entre l'image 1K et l'image n est supérieur à la différence de position entre la première zone de pixels et la quatrième zone de pixels.

Dans ce cas, l'image n peut être écartée pour suivre le point considéré et le procédé est poursuivi en utilisant l'image suivante n+1.

Dans un exemple de mise en œuvre, en référence à la **figure 7**, on peut utiliser l'ensemble des flots optiques calculés entre toutes les images de la séquence afin d'affiner davantage la précision du suivi du point.

En référence à la **figure 8**, les correspondances (M) entre les images peuvent être utilisées pour détecter une occlusion. En effet, lorsque le point est caché temporairement par un autre objet, l'algorithme de correspondance ne fonctionnera plus. Toutefois, il est possible de continuer à prédire le point suivi afin de le retrouver plus tard. Une occlusion affichera quelques images pour lesquelles le procédé n'a pas pu faire de correspondances. Il y a eu une occlusion de la caractéristique pendant les trames n-2 et n-1 (cases F sur la **figure 8**). Ensuite, dès que le point réapparaît (images n et n+1), la correspondance peut de nouveau être réalisée.

En combinant des flots optiques de différentes images pour suivre un même point de différentes manières, le procédé selon l'invention permet de réduire l'impact du

bruit sur le suivi de point, ce qui améliore notamment la précision du suivi et donc de l'assistance à la conduite.

Le procédé selon l'invention est particulièrement adapté au suivi de points utilisé dans un système d'assistance à la conduite d'un véhicule automobile. Il est
5 également applicable avantageusement au suivi de points utilisé dans les systèmes de type radar ou lidar.

REVENDEICATIONS

1. Procédé d'estimation du mouvement d'au moins un point dans une séquence d'images variant dans le temps, ladite séquence comprenant au moins une première image (t), une deuxième image (t+n-1) et une troisième image (t+n), la deuxième image (t+n-1) étant postérieure à la première image (t) et la troisième image (t+n) étant postérieure à la deuxième image (t+n-1), le procédé comprenant :
 - une étape de détermination, dans la première image (t), d'au moins une première zone de pixels correspondant à un point à suivre,
 - une étape de détermination, dans la deuxième image (t+n-1), d'une deuxième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la première image (t) et la deuxième image (t+n-1) à partir de la première zone de pixels déterminée,
 - une étape de détermination, dans la troisième image (t+n), d'une troisième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la deuxième image (t+n-1) et la troisième image (t+n) à partir de la deuxième zone de pixels déterminée,
 ledit procédé étant **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre :
 - une étape de détermination, dans la troisième image (t+n), d'une quatrième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la première image (t) et la troisième image (t+n) à partir de la première zone de pixels déterminée,
 - une étape de détermination, dans la troisième image (t+n), d'une cinquième zone de pixels, dite « zone affinée », à partir de la troisième zone de pixels déterminée et de la quatrième zone de pixels déterminée.
2. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la deuxième image (t+n-1) et la troisième image (t+n) sont consécutives dans la séquence d'images.
3. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la première image (t), la deuxième image (t+n-1) et la troisième image (t+n) sont consécutives dans la séquence d'images.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant une étape de stockage de la première zone de pixels, de la deuxième zone de pixels, de la troisième zone de pixels et de la quatrième zone de pixels.
5. Procédé selon la revendication précédente, comprenant une étape de stockage de la cinquième zone de pixels.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la première zone de pixels constitue une zone de pixels de référence servant de base à la

détermination d'une pluralité de troisièmes zones de pixels et de quatrièmes zones de pixels différentes à partir d'une pluralité de deuxièmes images (t+n-1) et de troisièmes images (t+n) différentes.

7. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la zone de pixels de
5 référence est utilisée tant que la distance entre la troisième zone de pixels et la quatrième zone de pixels est inférieure à un seuil prédéterminé.

8. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel le seuil prédéterminé correspond au niveau de bruit de la troisième image (t+n).

9. Calculateur pour véhicule automobile, destiné à estimer le mouvement d'au
10 moins un point dans une séquence d'images variant dans le temps générée par une caméra montée dans ledit véhicule, ladite séquence comprenant au moins une première image (t), une deuxième image (t+n-1) et une troisième image (t+n), la deuxième image (t+n-1) étant postérieure à la première image (t) et la troisième image (t+n) étant postérieure à la deuxième image (t+n-1), le calculateur étant configuré pour :

- 15 • déterminer, dans la première image (t), au moins une première zone de pixels correspondant à un point à suivre,
- déterminer, dans la deuxième image (t+n-1), une deuxième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la première image (t) et la deuxième image (t+n-1) à partir de la première zone de pixels déterminée,
- 20 • déterminer, dans la troisième image (t+n), une troisième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la deuxième image (t+n-1) et la troisième image (t+n) à partir de la deuxième zone de pixels déterminée,

ledit calculateur étant **caractérisé en ce qu'il** est en outre configuré pour :

- 25 • déterminer, dans la troisième image (t+n), une quatrième zone de pixels correspondant audit point en calculant le flot optique entre la première image (t) et la troisième image (t+n) à partir de la première zone de pixels déterminée,
- déterminer, dans la troisième image (t+n), une cinquième zone de pixels, dite « zone affinée », à partir de la troisième zone de pixels déterminée et de la
30 quatrième zone de pixels déterminée.

10. Véhicule automobile comprenant une caméra et un calculateur, selon la revendication précédente, relié à ladite caméra de manière à recevoir au moins une séquence d'images capturée par la caméra afin d'estimer le mouvement d'au moins un point dans ladite séquence et permettre une assistance à la conduite du véhicule.

1 / 4

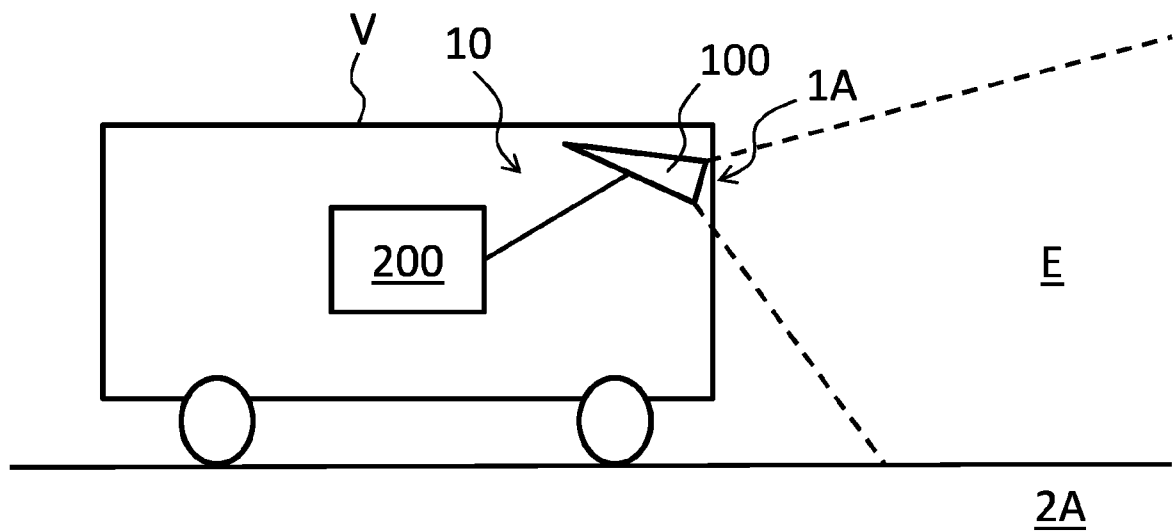


FIGURE 1

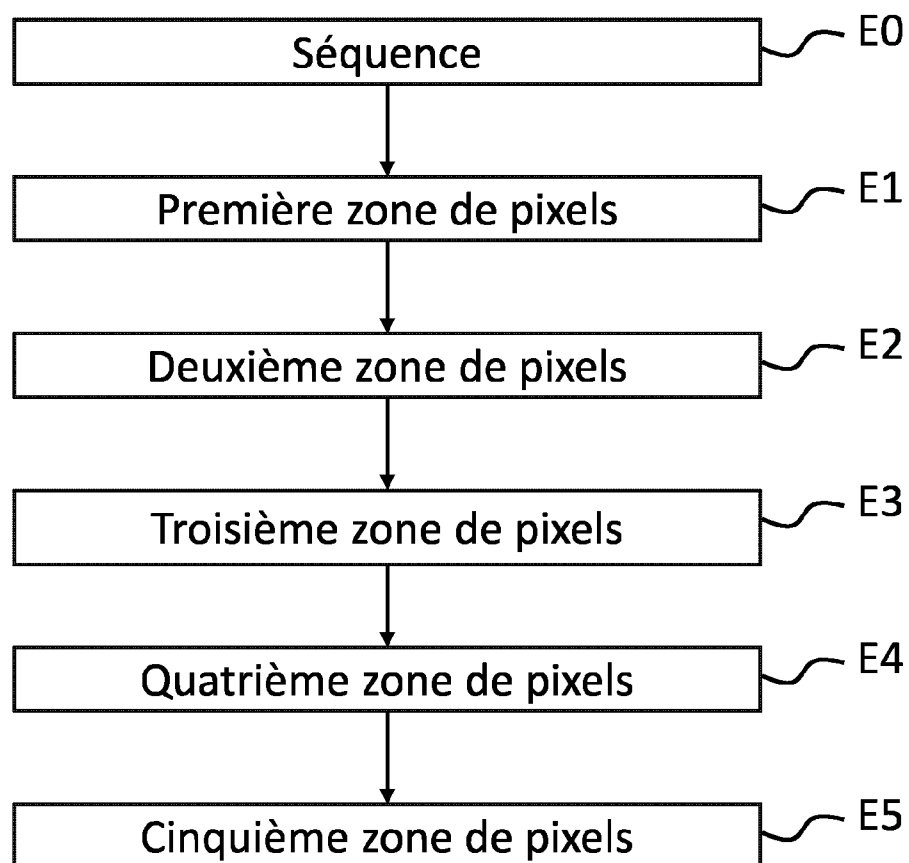


FIGURE 2

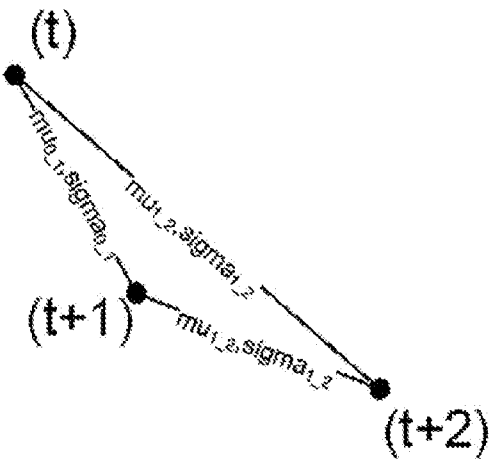


FIGURE 3

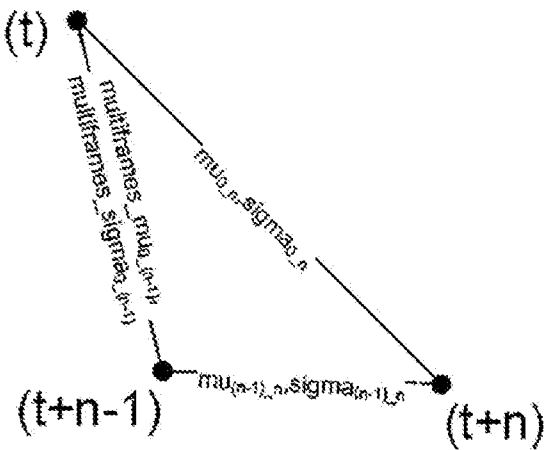


FIGURE 4

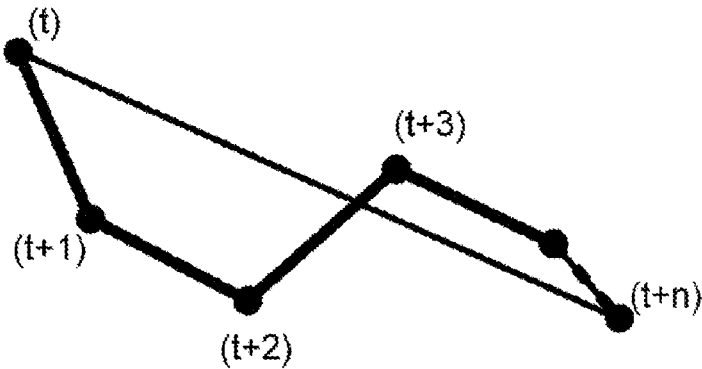


FIGURE 5

	1K	2	3	...	n-1	n
1K		M	M	M	M	M
2			M			
3				M		
...					M	
n-1						M
n						

FIGURE 6A

	1	2K	3	...	n-1	n
1		M	M	M	M	F
2K			M			M
3				M		
...					M	
n-1						M
n						

FIGURE 6B

	1K	2	3	...	n-1	n
1K		M	M	M	M	M
2			M			
3				M		
...					M	
n-1						FP
n						

FIGURE 6C

	1	2	3	...	n-1	n
1		M	M	M	M	F
2			M			
3				M		
...					M	
n-1						F
n						

FIGURE 6D

	1	2K	3	...	n-1	n
1		M	M	M	M	
2K			M			F
3				M		
...					M	
n-1						F
n						

FIGURE 6E

	1	2	3	...	n-1	n
1		M	M	M	M	
2			M			
3				M		
...					M	
n-1						
n						

FIGURE 6F

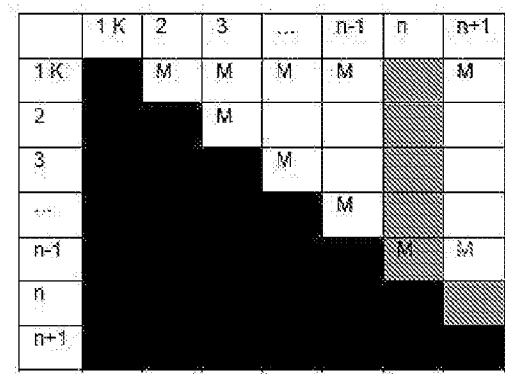


FIGURE 6G

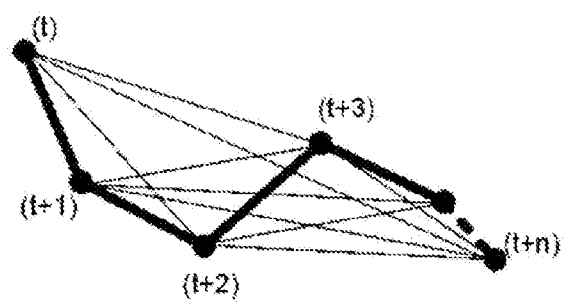


FIGURE 7

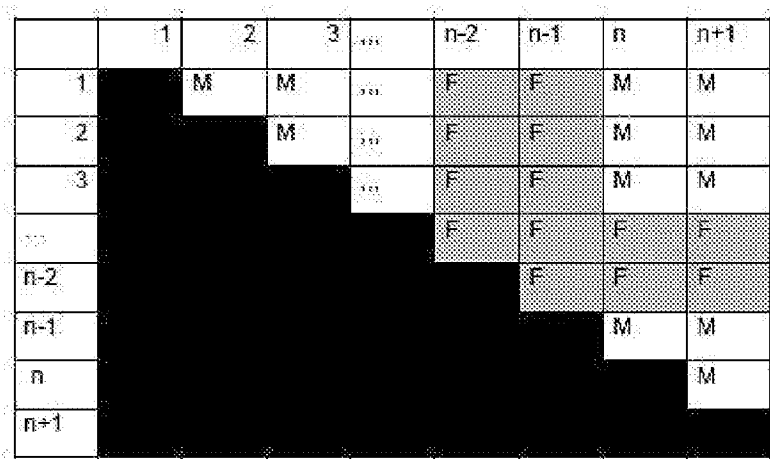


FIGURE 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2018/051803

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G06T7/269
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G06T H04N

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

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

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CONZE PIERRE-HENRI ET AL: "Multi-reference combinatorial strategy towards longer long-term dense motion estimation", COMPUTER VISION AND IMAGE UNDERSTANDING, ACADEMIC PRESS, US, vol. 150, 20 May 2016 (2016-05-20), pages 66-80, XP029628348, ISSN: 1077-3142, DOI: 10.1016/J.CVIU.2016.04.013 abstract Section 2 figure 1 ----- -/-	1-10



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

5 October 2018

Date of mailing of the international search report

18/10/2018

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Salvador, Elena

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2018/051803

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	TOMAS CRIVELLI ET AL: "From optical flow to dense long term correspondences", IMAGE PROCESSING (ICIP), 2012 19TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, 30 September 2012 (2012-09-30), pages 61-64, XP032333116, DOI: 10.1109/ICIP.2012.6466795 ISBN: 978-1-4673-2534-9 abstract Section 2. Section 3.1 figures 1,2	1-10
A	H. Badino ET AL: "STEREO VISION-BASED DETECTION OF MOVING OBJECTS UNDER STRONG CAMERA MOTION", 1st International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), 25 February 2006 (2006-02-25), pages 1-8, XP055460608, Retrieved from the Internet: URL:https://www.researchgate.net/profile/Uwe_Franke2/publication/238325371_Stereo_Vision-Based_Detection_of_Moving_Objects_under_Strong_Camera_Motion/links/0deec52e62cfd6b2e1c000000.pdf [retrieved on 2018-03-19] abstract Section 2 Section 3 Section 3.4 figure 4	1-10
A	US 2013/076915 A1 (RAMACHANDRAN MAHESH [US] ET AL) 28 March 2013 (2013-03-28) abstract paragraph [0046] - paragraph [0048]	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2018/051803

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2013076915 A1	28-03-2013	US 2013076915 A1	28-03-2013
		WO 2013048641 A1	04-04-2013

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2018/051803

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G06T7/269
ADD.

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

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
G06T H04N

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

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

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	CONZE PIERRE-HENRI ET AL: "Multi-reference combinatorial strategy towards longer long-term dense motion estimation", COMPUTER VISION AND IMAGE UNDERSTANDING, ACADEMIC PRESS, US, vol. 150, 20 mai 2016 (2016-05-20), pages 66-80, XP029628348, ISSN: 1077-3142, DOI: 10.1016/J.CVIU.2016.04.013 abrégé Section 2 figure 1 ----- -/--	1-10



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

5 octobre 2018

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

18/10/2018

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

Salvador, Elena

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	TOMAS CRIVELLI ET AL: "From optical flow to dense long term correspondences", IMAGE PROCESSING (ICIP), 2012 19TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, 30 septembre 2012 (2012-09-30), pages 61-64, XP032333116, DOI: 10.1109/ICIP.2012.6466795 ISBN: 978-1-4673-2534-9 abrégé Section 2. Section 3.1 figures 1,2	1-10
A	H. Badino ET AL: "STEREO VISION-BASED DETECTION OF MOVING OBJECTS UNDER STRONG CAMERA MOTION", 1st International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), 25 février 2006 (2006-02-25), pages 1-8, XP055460608, Extrait de l'Internet: URL:https://www.researchgate.net/profile/Uwe_Franke2/publication/238325371_Stereo_Vision-Based_Detection_of_Moving_Objects_Under_Strong_Camera_Motion/links/0deec52e62cfd6b2e1c000000.pdf [extrait le 2018-03-19] abrégé Section 2 Section 3 Section 3.4 figure 4	1-10
A	US 2013/076915 A1 (RAMACHANDRAN MAHESH [US] ET AL) 28 mars 2013 (2013-03-28) abrégé alinéa [0046] - alinéa [0048]	1-10

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

PCT/FR2018/051803

Formulaire PCT/ISA/210 (annexe familles de brevets) (avril 2005)