

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 16.03.15.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.09.16 Bulletin 16/38.

(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 :

Demande(s) d'extension :

(71) Demandeur(s) : UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE (PARIS 6) Etablissement public — FR, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS - Etablissement public — FR et INSERM (INSTITUT NATIONAL DE LA SANTE ET DE LA RECHERCHE MEDICALE) — FR.

(72) Inventeur(s) : IENG SIO-HOÏ, BENOSMAN RYAD et SHI BERTRAM.

(73) Titulaire(s) : UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE (PARIS 6) Etablissement public, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS - Etablissement public, INSERM (INSTITUT NATIONAL DE LA SANTE ET DE LA RECHERCHE MEDICALE).

(74) Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

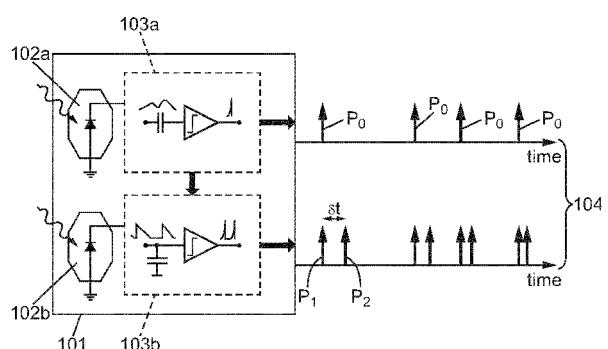
(54) PROCÉDÉ DE RECONSTRUCTION 3D D'UNE SCÈNE.

(57) La présente invention concerne un procédé de reconstruction 3D d'une scène comprenant l'appariement (610) d'un premier événement parmi des premiers événements successifs asynchrones d'un premier capteur avec un deuxième événement parmi les deuxièmes événements successifs asynchrones d'un deuxième capteur en fonction d'une minimisation (609) d'une fonction coût (E).

La fonction coût comporte au moins une composante parmi :

- une composante de luminance (E_l) fonction au moins d'un premier signal de luminance (I_u) convolué avec un noyau de convolution ($g_\sigma(t)$), la luminance dudit pixel étant fonction d'un écart entre des maximums (t_{e-u}, t_{e+u}) dudit premier signal; et d'un deuxième signal de luminance (I_v) convolué avec ledit noyau de convolution, la luminance dudit pixel étant fonction d'un écart entre des maximums (t_{e-v}, t_{e+v}) dudit deuxième signal;

- un composante de mouvement (E_M) fonction au moins de valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements localisés à une distance d'un pixel du premier capteur et de valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements localisés à une distance d'un pixel du deuxième capteur.



PROCEDE DE RECONSTRUCTION 3D D'UNE SCENE

La présente invention concerne le domaine de la reconstruction 3D d'une scène, notamment lorsque celle-ci est capturée à l'aide de capteurs asynchrones.

5 Contrairement aux caméras classiques qui enregistrent des images successives à des instants d'échantillonnage réguliers, les rétines biologiques ne transmettent que peu d'information redondante sur la scène à visualiser, et ce de manière asynchrone.

Des capteurs de vision asynchrones basés sur événement délivrent des données numériques compressées sous forme d'événements.

10 Une présentation de tels capteurs peut être consultée dans « *Activity-Driven, Event-Based Vision Sensors* », T. Delbrück, et al., Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), pp. 2426-2429. Les capteurs de vision basés sur événement ont pour avantage d'enlever de la redondance, de réduire les temps de latence et d'augmenter la gamme de 15 dynamique temporelle et de niveaux de gris par rapport aux caméras classiques.

La sortie d'un tel capteur de vision peut consister, pour chaque adresse de pixel, en une séquence d'événements asynchrones représentatifs des changements de réflectance de la scène au moment où ils se produisent.

Chaque pixel du capteur est indépendant et détecte des changements d'intensité 20 lumineuse supérieurs à un seuil depuis l'émission du dernier événement (par exemple un contraste de 15% sur le logarithme de l'intensité). Lorsque le changement d'intensité dépasse le seuil fixé, un événement ON ou OFF est généré par le pixel selon que l'intensité augmente ou diminue (capteurs DVS). Certains capteurs asynchrones associent les événements détectés à des mesures absolues 25 d'intensité lumineuse (capteurs ATIS).

Le capteur n'étant pas échantillonné sur une horloge comme une caméra classique, il peut rendre compte du séquencement des événements avec une très grande précision temporelle (par exemple de l'ordre de 1 µs). Si on utilise un tel

capteur pour reconstruire une séquence d'images, on peut atteindre une cadence d'images de plusieurs kilohertz, contre quelques dizaines de hertz pour des caméras classiques.

5 Par ailleurs, dans le cadre de reconstruction 3D d'une scène, pour chacun des pixels des capteurs, un calcul de la position dans l'espace est réalisé. Afin de réaliser cette opération, il existe de nombreuses méthodes utilisant plusieurs caméras ou autres capteurs classiques. Dès lors, ces méthodes réalisent des déterminations à l'aide d'images 2D classiques dans lesquelles les pixels possèdent au moins une
10 valeur (i.e. sont définies).

Pour les capteurs asynchrones, tels que définis précédemment, de telles méthodes sont inapplicables par nature, car aucune image 2D « classique » n'est disponible en sortie des capteurs : afin d'utiliser ces méthodes, il serait nécessaire de « reconstruire » artificiellement des images 2D à partir des informations asynchrones
15 des capteurs. Néanmoins, cette reconstruction peut être lourde et la manipulation d'images complètes peut nécessiter des moyens de traitement conséquents. De plus, cette reconstruction discrétise l'information temporelle et ainsi, la dépendance temporelle de l'information visuelle est pratiquement ignorée.

Dès lors, il existe un besoin pour le développement de méthodes de
20 reconstruction de scène en 3D, méthodes adaptées aux capteurs asynchrones.

La présente invention vise à améliorer la situation.

À cet effet, la présente invention propose une méthode spécialement adaptée aux capteurs asynchrones pour reconstruire des scènes observées en 3D.

La présente invention vise alors un procédé de reconstruction 3D d'une scène, le
25 procédé comprenant :

- réception d'une première information asynchrone d'un premier capteur ayant une première matrice de pixels disposée au regard de la scène, la première information asynchrone comprenant, pour chaque pixel de la première matrice, des premiers événements successifs provenant dudit pixel ;

- réception d'une deuxième information asynchrone d'un deuxième capteur ayant une deuxième matrice de pixels disposée au regard de la scène, la deuxième information asynchrone comprenant, pour chaque pixel de la deuxième matrice, des deuxièmes événements successifs provenant dudit pixel, le deuxième capteur étant distinct du premier capteur ;
- appariement d'un premier événement parmi les premiers événements successifs avec un deuxième événement parmi les deuxièmes événements successifs en fonction d'une minimisation d'une fonction coût ;

dans lequel la fonction coût comporte au moins une composante parmi:

- une composante de luminance, ladite composante de luminance étant fonction au moins :
 - d'un premier signal de luminance provenant d'un pixel du premier capteur convolué avec un noyau de convolution, la luminance dudit pixel étant fonction d'un écart entre des maximums dudit premier signal ; et
 - d'un deuxième signal de luminance provenant d'un pixel du deuxième capteur convolué avec ledit noyau de convolution, la luminance dudit pixel étant fonction d'un écart entre des maximums dudit deuxième signal ;
- une composante de mouvement, ladite composante de mouvement étant fonction au moins :
 - de valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du premier capteur ;
 - de valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du deuxième capteur.

Ainsi, il n'est pas nécessaire, pour la reconstruction des scènes en 3D capturées à l'aide de plusieurs capteurs asynchrones de type DVS ou ATIS, de recréer des images 2D classiques pour l'utilisation des méthodes de l'art antérieur applicable à

ces images.

Dès lors la précision d'une telle reconstruction 3D est très précise/grande, l'information temporelle asynchrone étant beaucoup plus précisément échantillonnée.

5

Par ailleurs, la fonction coût peut comporter en outre:

- une composante temporelle, ladite composante temporelle étant fonction d'une différence entre :
 - une valeur temporelle relative à un événement du premier capteur;
 - une valeur temporelle relative à un événement du deuxième capteur.

10

Il est ainsi possible d'éviter que des événements temporellement trop éloignés puissent être associés.

Dans un mode de réalisation particulier, la fonction coût peut comporter en outre:

15

- une composante géométrique, ladite composante géométrique étant fonction :
 - d'une distance spatiale d'un pixel du deuxième capteur à une droite épipolaire ou à une intersection de droites épipolaires définies par au moins un pixel du premier capteur.

20

Il est ainsi possible d'éviter que des événements ne correspondant pas au même point $X(t)$ de la scène puissent être associés.

25

Avantageusement, le signal de luminance du pixel du premier capteur et du pixel du deuxième capteur comportant un maximum codant un temps de survenance d'une variation de luminance, le noyau de convolution peut être une gaussienne de variance pré-déterminée.

Dans une réalisation particulière, ladite composante de luminance peut être fonction en outre :

- de signaux de luminance de pixels du premier capteur spatialement localisés à une distance prédéterminée du premier pixel du premier capteur convolué avec le noyau de convolution ; et
- de signaux de luminance de pixels du deuxième capteur spatialement localisés à une distance prédéterminée du deuxième pixel du deuxième capteur convolué avec le noyau de convolution.

Dès lors, la prise en compte d'événements proches des pixels à associer permet 10 de vérifier qu'il existe une correspondance d'ensemble et que le fait d'obtenir une correspondance locale pour deux pixels n'est pas un simple artefact ou une simple singularité.

De plus, ladite composante de mouvement peut être fonction en outre :

- 15 - d'une valeur moyenne des valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements de pixels du premier capteur spatialement localisés à une distance prédéterminée du pixel du premier capteur ;
- d'une valeur moyenne des valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements de pixels du deuxième capteur spatialement localisés à une 20 distance prédéterminée du pixel du deuxième capteur.

Dans un mode de réalisation particulier, ladite composante de mouvement peut être fonction, pour un temps donné :

- 25 - pour chaque valeur temporelle courante relative à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du premier capteur, d'une valeur fonction de manière décroissante d'une distance dudit temps donné à ladite valeur temporelle courante ;
- pour chaque valeur temporelle courante relative à la survenance

d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du deuxième capteur, d'une valeur fonction de manière décroissante d'une distance dudit temps donné à ladite valeur temporelle courante.

5 Dans un mode de réalisation alternatif, ladite composante de mouvement peut être fonction :

- d'une première convolution d'une fonction décroissante avec un signal comportant un Dirac pour chaque valeur temporelle relative à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du premier capteur ;
- d'une deuxième convolution d'une fonction décroissante avec un signal comportant un Dirac pour chaque valeur temporelle relative à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du deuxième capteur.

15

La présente invention vise également un dispositif de reconstruction 3D d'une scène, le procédé comprenant :

- une interface pour la réception d'une première information asynchrone d'un premier capteur ayant une première matrice de pixels disposée au regard de la scène, la première information asynchrone comprenant, pour chaque pixel de la première matrice, des premiers événements successifs provenant dudit pixel ;
- une interface pour la réception d'une deuxième information asynchrone d'un deuxième capteur ayant une deuxième matrice de pixels disposée au regard de la scène, la deuxième information asynchrone comprenant, pour chaque pixel de la deuxième matrice, des deuxièmes événements successifs provenant dudit pixel, le deuxième capteur étant distinct du premier capteur ;
- un processeur adapté pour l'appariement d'un premier événement parmi les premiers événements successifs avec un deuxième événement parmi les

deuxièmes événements successifs en fonction d'une minimisation d'une fonction coût ;

dans lequel la fonction coût comporte au moins une composante parmi:

- une composante de luminance, ladite composante de luminance étant fonction au moins :

5

- d'un premier signal de luminance provenant d'un pixel du premier capteur convolué avec un noyau de convolution, la luminance dudit pixel étant fonction d'un écart entre des maximums dudit premier signal ; et

10

- d'un deuxième signal de luminance provenant d'un pixel du deuxième capteur convolué avec ledit noyau de convolution, la luminance dudit pixel étant fonction d'un écart entre des maximums dudit deuxième signal ;

15

- une composante de mouvement, ladite composante de mouvement étant fonction au moins :

- de valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du premier capteur ;

20

- de valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du deuxième capteur.

Un programme informatique, mettant en œuvre tout ou partie du procédé décrit ci-avant, installé sur un équipement préexistant, est en lui-même avantageux.

25 Ainsi, la présente invention vise également un programme informatique comportant des instructions pour la mise en œuvre du procédé précédemment décrit, lorsque ce programme est exécuté par un processeur.

Ce programme peut utiliser n'importe quel langage de programmation (par exemple, un langage-objet ou autre), et être sous la forme d'un code source

interprétable, d'un code partiellement compilé ou d'un code totalement compilé.

La figure 6 décrite en détail ci-après peut former l'organigramme de l'algorithme général d'un tel programme informatique.

5 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description qui va suivre. Celle-ci est purement illustrative et doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est un schéma synoptique d'un capteur asynchrone de lumière de type ATIS ;

10 - la figure 2 est un diagramme montrant des événements générés par un capteur asynchrone placé en regard d'une scène comportant une étoile tournante ;

- la figure 3 est un exemple du calcul d'une composante de luminance pour deux points de deux capteurs distincts ;

15 - les figures 4a et 4b sont des exemples de représentation d'un signal d'activité d'un pixel donné ;

- la figure 4c est une représentation de cartes de mouvement générées à l'aide de capteurs asynchrones distincts ;

20 - les figures 5a et 5b sont des représentations d'exemples de calcul de composantes géométriques dans un mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 6 illustre un ordinogramme présentant un mode de réalisation selon l'invention ;

- la figure 7 illustre un dispositif pour la mise en œuvre d'un mode de réalisation selon l'invention.

25

La figure 1 illustre le principe de l'ATIS.

Un pixel 101 de la matrice constituant le capteur comporte deux éléments

photosensibles 102a, 102b, tels que des photodiodes, respectivement associés à des circuits électroniques de détection 103a, 103b.

Le capteur 102a et son circuit 103a produisent une impulsion P_0 lorsque l'intensité lumineuse reçue par la photodiode 102a varie d'une quantité prédefinie.

- 5 L'impulsion P_0 marquant ce changement d'intensité déclenche le circuit électronique 103b associé à l'autre photodiode 102b. Ce circuit 103b génère alors une première impulsion P_1 puis une deuxième impulsion P_2 dès qu'une quantité de lumière donnée (nombre de photons) est reçue par la photodiode 102b.

- 10 L'écart temporel δt entre les impulsions P_1 et P_2 est inversement proportionnel à l'intensité lumineuse reçue par le pixel 101 juste après l'apparition de l'impulsion P_0 .

- 15 L'information asynchrone issue de l'ATIS comprend deux trains impulsions combinées pour chaque pixel (104) : le premier train d'impulsions P_0 indique les instants où l'intensité lumineuse a changé au-delà du seuil de détection, tandis que le second train se compose des impulsions P_1 et P_2 dont l'écart temporel δt indique les intensités lumineuses, ou niveaux de gris, correspondants.

Un événement $e(\mathbf{p}, t)$ issu d'un pixel 101 de position \mathbf{p} dans la matrice de l'ATIS comporte alors deux types d'information: une information temporelle donnée par la position de l'impulsion P_0 , donnant l'instant t de l'événement, et une information de niveau de gris donnée par l'écart temporel δt entre les impulsions P_1 et P_2 .

- 20 On peut alors placer les événements provenant des pixels dans une représentation espace-temps à trois dimensions telle que celle présentée sur la figure 2. Sur cette figure, chaque point \mathbf{p} repère un événement $e(\mathbf{p}, t)$ engendré de manière asynchrone à un instant t au niveau d'un pixel p du capteur, de position $= \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$, par le mouvement d'une étoile tournant à vitesse angulaire constante comme schématisé dans l'encadré A. La majeure partie de ces points se répartissent à proximité d'une surface de forme générale hélicoïdale. En outre, la figure montre un certain nombre d'événements à distance de la surface hélicoïdale qui sont mesurés sans correspondre au mouvement effectif de l'étoile. Ces événements sont du bruit d'acquisition.

Les événements $e(\mathbf{p}, t)$ peuvent alors être définis par l'ensemble des informations suivantes :

$$e(\mathbf{p}, t) = \begin{cases} \mathbf{p} \in C \subset \mathbb{R}^2 \\ pol \\ I(\mathbf{p}, t) \end{cases}$$

avec C le domaine spatial du capteur, pol la polarité représentant la direction du changement de luminance (ex. 1 pour une augmentation ou -1 pour une diminution)

5 et $I(\mathbf{p}, t)$ le signal d'intensité lumineuse du point \mathbf{p} à l'instant t .

Le signal d'intensité lumineuse peut être ainsi l'ensemble des trains d'impulsions combinées 104 tel que décrit en Figure 1. Si t_u représente le temps de survenance de l'événement, et l'écart entre $t_{e+,u}$ et $t_{e-,u}$ représente une valeur inversement proportionnelle à l'intensité lumineuse reçue, il est possible de coder l'intensité à 10 l'aide de trois Dirac δ de telle sorte que $I(\mathbf{p}, t) = \delta(t - t_u) + \delta(t - t_{e+,u}) + \delta(t - t_{e-,u})$. Le signal d'intensité du pixel situé à la coordonnée \mathbf{p} permet alors de coder temporellement les informations de luminance. Cette information peut être directement issue du circuit électronique du capteur avec un minimum de transformation.

15

La figure 3 est un exemple du calcul d'une composante de luminance pour deux points \mathbf{p} et \mathbf{q} de deux capteurs \mathbf{u} et \mathbf{v} distincts.

Afin de déterminer si deux points \mathbf{p} et \mathbf{q} de deux capteurs correspondent au même point de la scène observée, il est fait l'hypothèse que les surfaces composant la 20 scène observée sont des surfaces de Lambert (i.e. des surfaces dont la luminance est la même quel que soit l'angle d'observation).

Dès lors, pour ces surfaces, l'intensité doit être la même sur les deux capteurs à un même instant, soit $I_u(\mathbf{p}, t) = I_v(\mathbf{q}, t)$.

Il est, par exemple, possible de calculer une corrélation entre ces deux signaux 25 $I_u(\mathbf{p}, t)$ et $I_v(\mathbf{q}, t)$.

Afin de pouvoir comparer simplement les signaux d'intensité lumineuse composés

de Dirac, il peut être avantageux de convoluer ces signaux par un noyau $g_\sigma(t)$ de support non vide. Il est alors possible de calculer une corrélation entre les deux signaux $I_u(\mathbf{p}, t) * g_\sigma(t) = \tilde{I}_u(\mathbf{p}, t)$ et $I_v(\mathbf{q}, t) * g_\sigma(t) = \tilde{I}_v(\mathbf{p}, t)$.

Par ailleurs, il peut être utile de ne pas limiter la comparaison de deux uniques points, mais de prendre également en compte les points situés à proximité de \mathbf{p} et de \mathbf{q} (i.e. situés à une distance prédéterminée de \mathbf{p} ou \mathbf{q} , distance au sens mathématique du terme) : l'ensemble des points à proximité de \mathbf{p} définissent un ensemble $v_u(\mathbf{p})$ et l'ensemble des points à proximité de \mathbf{q} définissent un ensemble $v_v(\mathbf{q})$ (N est le cardinal de ces ensembles). Ainsi, la composante de luminance peut être exprimée comme suit :

$$E_I = 1 - \frac{1}{N} \sum_{\substack{\mathbf{p}_i \in v_u(\mathbf{p}) \\ \mathbf{q}_i \in v_v(\mathbf{q})}} \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{I}_u(\mathbf{p}_i, t) \tilde{I}_v(\mathbf{q}_i, t) dt}{\sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{I}_u(\mathbf{p}_i, t)^2 dt} \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{I}_v(\mathbf{q}_i, t)^2 dt}}$$

Bien entendu, il est possible de réduire les bornes d'intégration en définissant ω le support des fonctions convolées $\tilde{I}(.)$ pour l'ensemble des points situés à proximité de \mathbf{p} ou \mathbf{q} tels que définis plus haut.

$$E_I = 1 - \frac{1}{N} \sum_{\substack{\mathbf{p}_i \in v_u(\mathbf{p}) \\ \mathbf{q}_i \in v_v(\mathbf{q})}} \frac{\int_{\omega} \tilde{I}_u(\mathbf{p}_i, t) \tilde{I}_v(\mathbf{q}_i, t) dt}{\sqrt{\int_{\omega} \tilde{I}_u(\mathbf{p}_i, t)^2 dt} \sqrt{\int_{\omega} \tilde{I}_v(\mathbf{q}_i, t)^2 dt}}$$

Enfin, il est possible de généraliser cette formule en utilisant plus de deux capteurs. Par exemple, avec Q capteurs $\{u, v, w, \dots\}$, il est possible d'écrire :

$$E_I = 1 - \frac{1}{(Q-1)N} \sum_{\substack{\mathbf{p}_i \in v_u(\mathbf{p}) \\ \mathbf{q}_{ci} \in v_c(\mathbf{q}_c) \\ c \in \{v, w, \dots\}}} \frac{\int_{\omega} \tilde{I}_u(\mathbf{p}_i, t) \tilde{I}_c(\mathbf{q}_{ci}, t) dt}{\sqrt{\int_{\omega} \tilde{I}_u(\mathbf{p}_i, t)^2 dt} \sqrt{\int_{\omega} \tilde{I}_c(\mathbf{q}_{ci}, t)^2 dt}}$$

Le noyau $g_\sigma(t)$ est avantageusement une gaussienne de variance σ . Il peut également être une fonction porte de largeur σ .

La figure 4c est une représentation de cartes 401 et 402 générées à l'aide de 20 capteurs asynchrones distincts.

Pour la génération de ces cartes, il est possible de définir la fonction S comme la

somme, pour chaque événement $ev_p(i) = \begin{cases} p_i = p \\ pol_i = pol \\ t_p \end{cases}$ d'un pixel p donné et pour une polarité pol donnée, à un instant t donné, de la fonction primitive $S_{prim}(p, pol, t) = \begin{cases} \max(h + \theta \cdot (t_p - t), 0) \text{ si } t \geq t_p, h \text{ étant une valeur prédéterminée et } \theta \text{ étant un} \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$

- 5 facteur prédéterminé correspondant à la vitesse de la décroissance de, la fonction primitive.

La « somme » de la fonction primitive peut être également vue mathématiquement comme une convolution :

- de la fonction primitive $S_{prim}(p, t) = \begin{cases} \max(h - \theta \cdot t, 0) \text{ si } t \geq 0 \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$ (ou plus

- 10 généralement de toute fonction décroissante),

- avec un signal comportant un Dirac pour chaque temps t_p auquel un

événement $ev_p(i) = \begin{cases} p_i = p \\ pol_i = pol \\ t_p \end{cases}$ est survenu.

A titre d'illustration, la figure 4a montre trois signaux d'activité possibles $t \rightarrow S$, pour trois pixels p_1, p_2 et p_3 du capteur (et pour une valeur de polarité pol donnée).

- 15 En l'absence d'événements, la valeur de $S(p_1, t)$, $S(p_2, t)$ ou $S(p_3, t)$ est nulle. Néanmoins, lors de la survenance d'un événement de polarité pol (par exemple, 410) au niveau du pixel p_1 , $S(p_1, t)$ prend une valeur seuil prédéterminé (ici h , cette valeur h pouvant être unitaire).

- 20 La valeur du signal d'activité $S(p_1, t)$ décroît alors progressivement après cet événement pour tendre vers 0.

Il en va de même pour l'événement 411 pour le pixel p_1 , pour l'événement 412 pour le pixel p_2 , ou pour l'événement 413 / 414 pour le pixel p_3 ,

Si la décroissance du signal d'activité S est ici linéaire, il est possible de prévoir tout type de décroissance comme une décroissance exponentielle :

$$h \cdot e^{-\frac{t-t_p}{\tau}}$$

Cette décroissance exponentielle peut être illustrée par la figure 4b (voir la courbe 4b et l'événement 320).

Par ailleurs, il est possible que, lors de la survenance d'un événement pour le pixel considéré (ex. p_4 ici), la valeur de la fonction S ne soit pas négligeable par rapport à la valeur de h (ex. l'événement 421 est temporellement proche de l'événement 422).

Dans un mode de réalisation, lors de la survenance de l'événement ultérieur 422, la valeur du signal d'activité S peut être fixée à la somme (éventuellement pondérée) de la valeur courante de S juste avant l'événement 422 (i.e. h_0) et de h . Ainsi, la décroissance de la courbe S partira de la valeur $h+h_0$ comme le montre la figure 4b. Par ailleurs, il est possible de prévoir que la valeur de $h+h_0$ soit capée à une valeur h_1 prédéterminée (i.e. $\min(h_1, h+h_0)$)

Dans un autre mode de réalisation, lors de la survenance de l'événement ultérieur 422, la valeur de la courbe S est fixée à la valeur h quel que soit la valeur de h_0 (i.e. les événements antérieurs au dernier événement (i.e. l'événement ultérieur) sont ignorés). Dans cet autre mode de réalisation, il est possible de définir un temps dit « temps de dernier événement » défini comme suit :

$$T(\mathbf{p}, pol, i) = \max(t_j) \mid j < i$$

ou

$$T(\mathbf{p}, pol, t) = \max(t_j) \mid t_j < t$$

avec t_j les temps d'événements survenant pour le pixel pour un pixel \mathbf{p} avec la polarité pol .

Conceptuellement, $\mathbf{p} \rightarrow T(\mathbf{p}, pol, t)$ définit une carte des temps des derniers événements de même polarité survenus temporellement juste avant un temps de référence (i.e. t).

On peut alors définir, dans cet autre mode de réalisation, $\mathbf{p} \rightarrow S(\mathbf{p}, pol, t)$ comme

étant une fonction de cet ensemble de temps $T(\mathbf{p}, pol, t)$.

Par exemple, $\mathbf{p} \rightarrow S(\mathbf{p}, pol, t)$:

$$\mathbf{p} \rightarrow S(\mathbf{p}, pol, t) : \begin{cases} h \cdot e^{-\frac{t-T(\mathbf{p}, pol, t)}{\tau}} & \text{si } t \geq T(\mathbf{p}, pol, t) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

avec τ et h une constante temporelle prédéterminée (S peut être toute fonction décroissante avec le temps t sur un intervalle comprenant comme borne inférieure

5 $T(\mathbf{p}, pol, t)$).

La création d'une carte S de pixels représentative de la « fraicheur » d'événements de ces pixels est avantageuse, car elle permet une représentation continue et simple de concepts discontinus (i.e. les événements). Cette carte créée permet de transformer la représentation des événements dans un domaine simple 10 d'appréhension.

Dès lors, sa création simplifie la manipulation et la comparaison des événements.

.Cette fonction S est représentative d'une « fraicheur » des événements survenus pour ce pixel.

15 Les cartes 401 et 402 de la figure 4c sont des représentations de cette fonction S pour un temps t donné et pour deux capteurs asynchrones capturant le mouvement d'une même main à partir de deux points de vue différents.

Les points les plus foncés représentent des points dont les derniers événements sont les plus récents par rapport au temps t (i.e. ayant la valeur de S la plus grande).

20 Les points les plus clairs représentent des points dont les derniers événements sont les plus lointains par rapport au temps t (i.e. ayant la valeur de S la plus petite, le fond de l'image est grisé pour faire ressortir plus facilement les valeurs claires bien que le fond corresponde à des valeurs nulles de la fonction S).

Les points foncés dispersés correspondent à un bruit de capture des capteurs.

25 Pour chaque événement survenant à la date t_0 , il est possible de déterminer une

carte de mouvement pour les pixel p . Dès lors chaque pixel p de la carte possède comme valeur $S(p, t_0)$.

Afin de déterminer si deux points p et q de deux capteurs correspondent au même point de la scène observée, il est supposé que la valeur de S des deux capteurs aux 5 points respectifs p et q seront similaires (cela n'est pas nécessairement le cas dans certaines situations limites) soit $S(p) = S(q)$ ou tout du moins $S(p) \approx S(q)$.

Il est, par exemple, possible de calculer une corrélation entre ces deux valeurs $S(p)$ et $S(q)$

Par ailleurs, il peut être utile de ne pas limiter la comparaison de deux uniques 10 points, mais de prendre également en compte les points situés à proximité de p (403) et de q (404) (i.e. situés à une distance prédéterminée de p ou q , distance au sens mathématique du terme) : l'ensemble des points à proximité de p définissent un ensemble $\nu_u(p)$ (405) et l'ensemble des points à proximité de q définissent un ensemble $\nu_v(q)$ (406) (N est le cardinal de ces ensembles).

15 Il est possible de déterminer la corrélation des deux cartes 405 et 406 à proximité des points p et q . De plus, il est possible, afin de s'affranchir de toute déviation temporelle d'un capteur, de soustraire à chacun des flots optiques 405 et 406 leur moyenne respective (respectivement $\overline{S_u}(p)$ et $\overline{S_v}(q)$).

Ainsi, la composante de mouvement, pour un instant t donné, peut être exprimée 20 comme suit :

$$E_M = 1 - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \frac{(S_u(p_i) - \overline{S_u}(p))(S_v(q_i) - \overline{S_v}(q))}{|S_u(p_i) - \overline{S_u}(p)| |S_v(q_i) - \overline{S_v}(q)|}$$

avec i l'index d'un point dans l'ensemble $\nu_u(p)$ et d'un point dans l'ensemble $\nu_v(q)$.

Enfin, il est possible de généraliser cette formule en utilisant plus de deux capteurs. Par exemple, avec Q capteurs $\{u, v, w, \dots\}$, il est possible d'écrire (en 25 utilisant les mêmes notations que précédemment pour la composante de luminance) :

$$E_M = 1 - \frac{1}{Q-1} \sum_{c \in \{v, w, \dots\}} \sum_{i=1}^N \frac{(S_u(\mathbf{p}_i) - \bar{S}_u(\mathbf{p})) (S_c(\mathbf{q}_{ci}) - \bar{S}_c(\mathbf{q}_c))}{|S_u(\mathbf{p}_i) - \bar{S}_u(\mathbf{p})| |S_c(\mathbf{q}_{ci}) - \bar{S}_c(\mathbf{q}_c)|}$$

Les figures 5a et 5b sont des représentations d'exemples de calcul de composantes géométriques dans un mode de réalisation de l'invention.

5 Lorsque deux capteurs 501 et 502 sont en regard d'une même scène (ex. d'une scène comportant le point $\mathbf{X}(t)$, voir Figure 5a), et si le point \mathbf{p}_1^u du premier capteur 501 représentatif du point $\mathbf{X}(t)$ (i.e. le point \mathbf{p}_1^u , $\mathbf{X}(t)$ et R_u sont alignés), il est possible de définir une droite épipolaire l_{uv} sur le capteur 502.

R_u est le centre de projection du capteur 501 et R_v est le centre de projection du capteur 502.

10 Cette droite épipolaire l_{uv} est définie comme étant l'intersection du plan $(\mathbf{X}(t), R_u, R_v)$ avec le capteur 502.

De manière plus générale, un point \mathbf{p} du premier capteur 501 définit une droite épipolaire $l_v(\mathbf{p})$ sur le deuxième capteur 502 et un point \mathbf{q} du deuxième capteur 502 définit une droite épipolaire $l_u(\mathbf{q})$ sur le premier capteur 501.

15 Dès lors, il est possible de définir une composante géométrique pour deux points \mathbf{p} et \mathbf{q} du premier et deuxième capteurs :

$$E_G = \frac{1}{2\epsilon_g} (d(\mathbf{p}, l_u(\mathbf{q})) + d(\mathbf{q}, l_v(\mathbf{p})))$$

Si le dispositif de prises de vues comporte trois capteurs (voir Figure 3b), deux droites épipolaires peuvent être définies par capteur, ces droites étant définies par les points considérés sur les deux autres capteurs. Ainsi, ces deux droites épipolaires possèdent alors une intersection, que l'on appelle ci-dessous intersection épipolaire. Dès lors :

- un point \mathbf{p} du premier capteur et un point \mathbf{q} du deuxième capteur définissent une intersection épipolaire $i_w(\mathbf{p}, \mathbf{q})$ sur le troisième capteur ;

- un point p du premier capteur et un point r du troisième capteur définissent une intersection épipolaire $i_v(p, r)$ sur le deuxième capteur ;
- un point q du deuxième capteur et un point r du troisième capteur définissent une intersection épipolaire $i_u(q, r)$ sur le premier capteur.

5 Ainsi, il est possible de définir une composante géométrique pour trois points p , q et r du premier, deuxième et troisième capteurs :

$$E_G = \frac{1}{3\epsilon_g} (d(p, i_u(q, r)) + d(q, i_v(p, r)) + d(r, i_w(p, q)))$$

avec ϵ_g une valeur prédéterminée d'une distance représentative d'un écart géométrique maximale acceptable.

Si le dispositif de prises de vues comporte plus de trois capteurs (ex. Q capteurs),
10 il est possible de généraliser la formule précédente en considérant que l'intersection épipolaire d'un capteur est le point situé au plus près de l'ensemble des droites épipolaires définies sur ce capteur par les points courants des autres capteurs (par exemple, en minimisant la somme des distances ou en minimisant le carré des distances desdit points aux droites épipolaires).

$$E_G = \frac{1}{Q\epsilon_g} \left(\sum_{c \in \{u, v, w, \dots\}} d(p_c, i_c(\{p_d\}_{d \in \{u, v, w, \dots\} \setminus c})) \right)$$

15 Il est également possible de déterminer une composante temporelle pour un événement $e(p, t_u)$ du premier capteur et un événement $e(q, t_v)$ du deuxième capteur :

$$E_T = \frac{|t_u - t_v|}{\epsilon_t}$$

avec ϵ_t un nombre ayant la dimension d'un temps et représentatif d'un écart temporel maximal acceptable entre ces deux événements.

20 Si le dispositif de prises de vues comporte plus de trois capteurs (ex. Q capteurs), il est possible de généraliser la formule précédente :

$$E_T = \frac{\sum_{c=\{v,w,\dots\}} |t_u - t_c|}{Q\epsilon_t}$$

La figure 6 illustre un ordinogramme présentant un mode de réalisation selon l'invention.

Sur réception de deux ensembles d'événements asynchrones 601 et 602 provenant de deux capteurs asynchrones distincts et mis en regard d'une même scène, il est possible de sélectionner deux événements de ces capteurs (étape 603, définis par le pixel p_i et le temps t_{1i} pour le premier capteur et le pixel q_j et le temps t_{2j} pour le deuxième capteur).

Une fois ces événements sélectionnés, il est possible de déterminer au moins une composante parmi les composantes suivantes, comme évoqué ci-avant :

- une composante géométrique (étape 604) ;
- une composante temporelle (étape 605) ;
- une composante de mouvement (étape 606) ;
- une composante de luminance (étape 607).

Pour un événement $e_1(p_i, t_{1i})$ fixé pour le premier capteur, il est possible d'itérer (test 608, sortie j+1) sur un grand nombre d'événement $e_2(q_j, t_{2j})$ (en faisant varier l'index j, par exemple) : les itérations peuvent viser l'ensemble des événements du deuxième capteur ou avantageusement seulement un sous-ensemble de ces événements (par exemple, uniquement ceux situés à une distance géométrique prédéterminée de la droite épipolaire ou de l'intersection épipolaire définie par au moins p_i et/ou uniquement ceux situés à une distance temporelle prédéterminée du temps t_{1i}).

Une fois les itérations terminées (test 608, sortie OK), il est possible de déterminer l'événement $e_2(q_j, t_{2j})$ minimisant une fonction coût E pour un événement $e_1(p_i, t_{1i})$ fixé (étape 609). La fonction coût peut être, par exemple, une somme simple ($E = E_T + E_M + E_G + E_I$) ou une somme pondérée ($E = \omega_T E_T + \omega_M E_M + \omega_G E_G + \omega_I E_I$).

$\omega_I E_I$) des composantes précédemment calculées (toute autre fonction faisant intervenir ces composantes est également possible).

Il a été constaté expérimentalement qu'une fonction coût prenant en compte une composante de luminance et/ou une composante de mouvement permettait
5 d'augmenter significativement la précision des reconstructions 3D réalisées.

Une fois la minimisation réalisée, il est possible d'associer les points p_i et q_j (étape 610), et ainsi de calculer les distances ou la position dans l'espace du point $X(t)$ de la scène observée représentatif des points associés p_i et q_j (étape 611).

Les distances calculées (ou la position du point $X(t)$ dans l'espace) sont alors
10 retournées (612).

La figure 7 illustre un dispositif pour la mise en œuvre d'un mode de réalisation selon l'invention.

Dans ce mode de réalisation, le dispositif comporte un ordinateur 700, comprenant
15 une mémoire 705 pour stocker des instructions permettant la mise en œuvre du procédé, les données de mesures reçues, et des données temporaires pour réaliser les différentes étapes du procédé tel que décrit précédemment.

L'ordinateur comporte en outre un circuit 704. Ce circuit peut être, par exemple :

- un processeur apte à interpréter des instructions sous la forme de programme informatique, ou
- une carte électronique dont les étapes du procédé de l'invention sont décrites dans le silicium, ou encore
- une puce électronique programmable comme une puce FPGA (pour « Field-Programmable Gate Array » en anglais).

Cet ordinateur comporte une interface d'entrée 703 pour la réception des événements des capteurs, et une interface de sortie 706 pour la fourniture des distances 707. Enfin, l'ordinateur peut comporter, pour permettre une interaction aisée avec un utilisateur, un écran 701 et un clavier 702. Bien entendu, le clavier est
25

facultatif, notamment dans le cadre d'un ordinateur ayant la forme d'une tablette tactile, par exemple.

Par ailleurs, le schéma fonctionnel présenté sur la figure 6 est un exemple typique
5 d'un programme dont certaines instructions peuvent être réalisées auprès de dispositif décrit. À ce titre, la figure 6 peut correspondre à l'organigramme de l'algorithme général d'un programme informatique au sens de l'invention.

Bien entendu, la présente invention ne se limite pas aux formes de réalisation
10 décrites ci-dessus à titre d'exemple ; elle s'étend à d'autres variantes.

D'autres réalisations sont possibles.

Par exemple, l'ordinogramme de la figure 6 peut également comporter une itération sur les événements $e_1(p_i, t_{1i})$ afin d'associer plusieurs événements du premier capteur avec des événements du deuxième capteur.

REVENDICATIONS

1. Procédé de reconstruction 3D d'une scène, le procédé comprenant :

- réception (601) d'une première information asynchrone d'un premier capteur (501) ayant une première matrice de pixels disposée au regard de la scène, la première information asynchrone comprenant, pour chaque pixel (p) de la première matrice, des premiers événements successifs provenant dudit pixel ;
- réception (602) d'une deuxième information asynchrone d'un deuxième capteur (502) ayant une deuxième matrice de pixels disposée au regard de la scène, la deuxième information asynchrone comprenant, pour chaque pixel (q) de la deuxième matrice, des deuxièmes événements successifs provenant dudit pixel, le deuxième capteur étant distinct du premier capteur ;
- appariement (610) d'un premier événement parmi les premiers événements successifs avec un deuxième événement parmi les deuxièmes événements successifs en fonction d'une minimisation (609) d'une fonction coût (E) ;

dans lequel la fonction coût comporte au moins une composante parmi:

- une composante de luminance (E_l), ladite composante de luminance étant fonction au moins :
 - d'un premier signal de luminance (I_u) provenant d'un pixel du premier capteur convolué avec un noyau de convolution ($g_\sigma(t)$), la luminance dudit pixel étant fonction d'un écart entre des maximums ($t_{e-,u}, t_{e+,u}$) dudit premier signal ; et
 - d'un deuxième signal de luminance (I_v) provenant d'un pixel du deuxième capteur convolué avec ledit noyau de convolution, la luminance dudit pixel étant fonction d'un écart entre des maximums ($t_{e-,v}, t_{e+,v}$) dudit deuxième signal ;

- un composante de mouvement (E_M), ladite composante de mouvement étant fonction au moins :

- de valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du premier capteur ;

5

- de valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du deuxième capteur.

10 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la fonction coût (E) comporte en outre:

- une composante temporelle (E_T), ladite composante temporelle étant fonction d'une différence entre :

- une valeur temporelle relative à un événement du premier capteur;

15

- une valeur temporelle relative à un événement du deuxième capteur.

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la fonction coût (E) comporte en outre:

20

- une composante géométrique (E_G), ladite composante géométrique étant fonction :

- d'une distance spatiale d'un pixel du deuxième capteur à une droite épipolaire ou à une intersection épipolaire définie par au moins un pixel du premier capteur.

25

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel, le signal de luminance (I_u, I_v) du pixel du premier capteur et du pixel du deuxième capteur comportant un maximum codant un temps de survenance d'une variation de luminance, le noyau de convolution est une gaussienne de variance prédéterminée.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite composante de luminance (E_l) est fonction en outre :

- de signaux de luminance de pixels du premier capteur spatialement localisés à une distance prédéterminée du premier pixel du premier capteur convolué avec le noyau de convolution ; et
- de signaux de luminance de pixels du deuxième capteur spatialement localisés à une distance prédéterminée du deuxième pixel du deuxième capteur convolué avec le noyau de convolution.

10

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite composante de mouvement (E_M) est fonction :

- d'une valeur moyenne ($\bar{S}(p)$) des valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements de pixels du premier capteur spatialement localisés à une distance prédéterminée du pixel du premier capteur ;
- d'une valeur moyenne ($\bar{S}(q)$) des valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements de pixels du deuxième capteur spatialement localisés à une distance prédéterminée du pixel du deuxième capteur.

20

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite composante de mouvement (E_M) est fonction, pour un temps donné :

- pour chaque valeur temporelle courante relative à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du premier capteur, d'une valeur fonction de manière décroissante d'une distance dudit temps donné à ladite valeur temporelle courante ;
- pour chaque valeur temporelle courante relative à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du deuxième capteur, d'une valeur fonction de manière décroissante

25

d'une distance dudit temps donné à ladite valeur temporelle courante.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel ladite composante de mouvement (E_M) est fonction :

- 5 - d'une première convolution d'une fonction décroissante avec un signal comportant un Dirac pour chaque valeur temporelle relative à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance préterminée d'un pixel du premier capteur ;
- 10 - d'une deuxième convolution d'une fonction décroissante avec un signal comportant un Dirac pour chaque valeur temporelle relative à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance préterminée d'un pixel du deuxième capteur.

9. Dispositif de reconstruction 3D d'une scène, le procédé comprenant :

- 15 - une interface (703) pour la réception (601) d'une première information asynchrone d'un premier capteur (501) ayant une première matrice de pixels disposée au regard de la scène, la première information asynchrone comprenant, pour chaque pixel (p) de la première matrice, des premiers événements successifs provenant dudit pixel ;
- 20 - une interface (703) pour la réception (602) d'une deuxième information asynchrone d'un deuxième capteur (502) ayant une deuxième matrice de pixels disposée au regard de la scène, la deuxième information asynchrone comprenant, pour chaque pixel (q) de la deuxième matrice, des deuxièmes événements successifs provenant dudit pixel, le deuxième capteur étant distinct du premier capteur ;
- un processeur (704) adapté pour l'appariement (610) d'un premier événement parmi les premiers événements successifs avec un deuxième événement parmi les deuxièmes événements successifs en fonction d'une minimisation (609) d'une fonction coût (E) ;

dans lequel la fonction coût comporte au moins une composante parmi:

- une composante de luminance (E_l), ladite composante de luminance étant fonction au moins :
 - d'un premier signal de luminance (I_u) provenant d'un pixel du premier capteur convolué avec un noyau de convolution ($g_\sigma(t)$), la luminance dudit pixel étant fonction d'un écart entre des maximums ($t_{e-,u}, t_{e+,u}$) dudit premier signal ; et
 - d'un deuxième signal de luminance (I_v) provenant d'un pixel du deuxième capteur convolué avec ledit noyau de convolution, la luminance dudit pixel étant fonction d'un écart entre des maximums ($t_{e-,v}, t_{e+,v}$) dudit deuxième signal ;
- un composante de mouvement (E_M), ladite composante de mouvement étant fonction au moins :
 - de valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du premier capteur ;
 - de valeurs temporelles relatives à la survenance d'événements spatialement localisés à une distance prédéterminée d'un pixel du deuxième capteur.

20

10. Produit programme informatique comportant des instructions pour la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 8, lorsque ce programme est exécuté par un processeur.

1/8

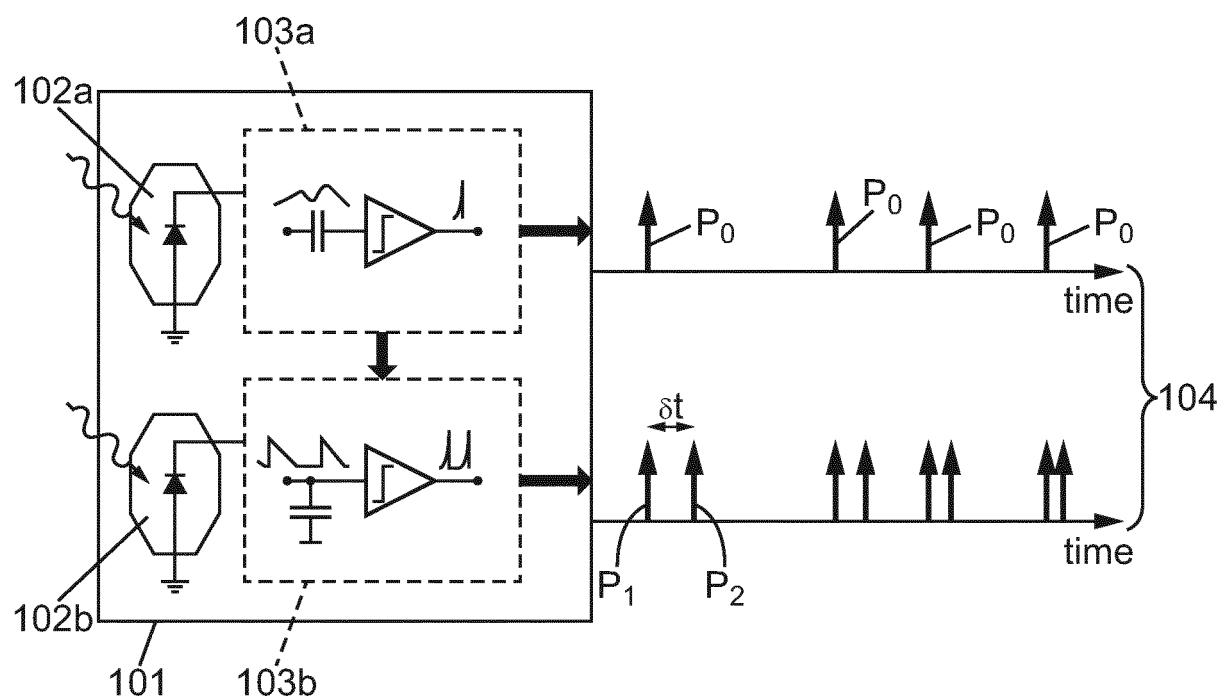
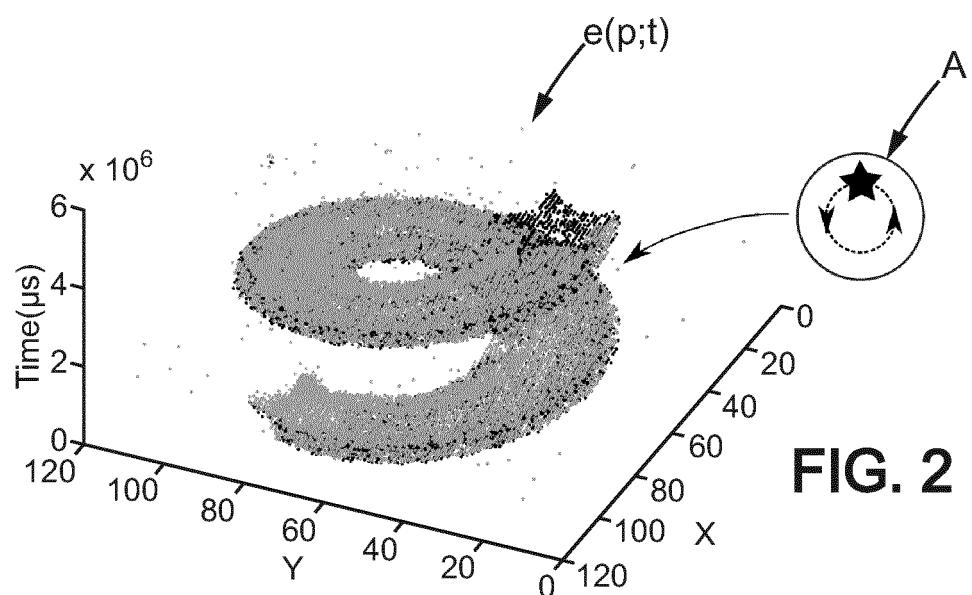


FIG. 1



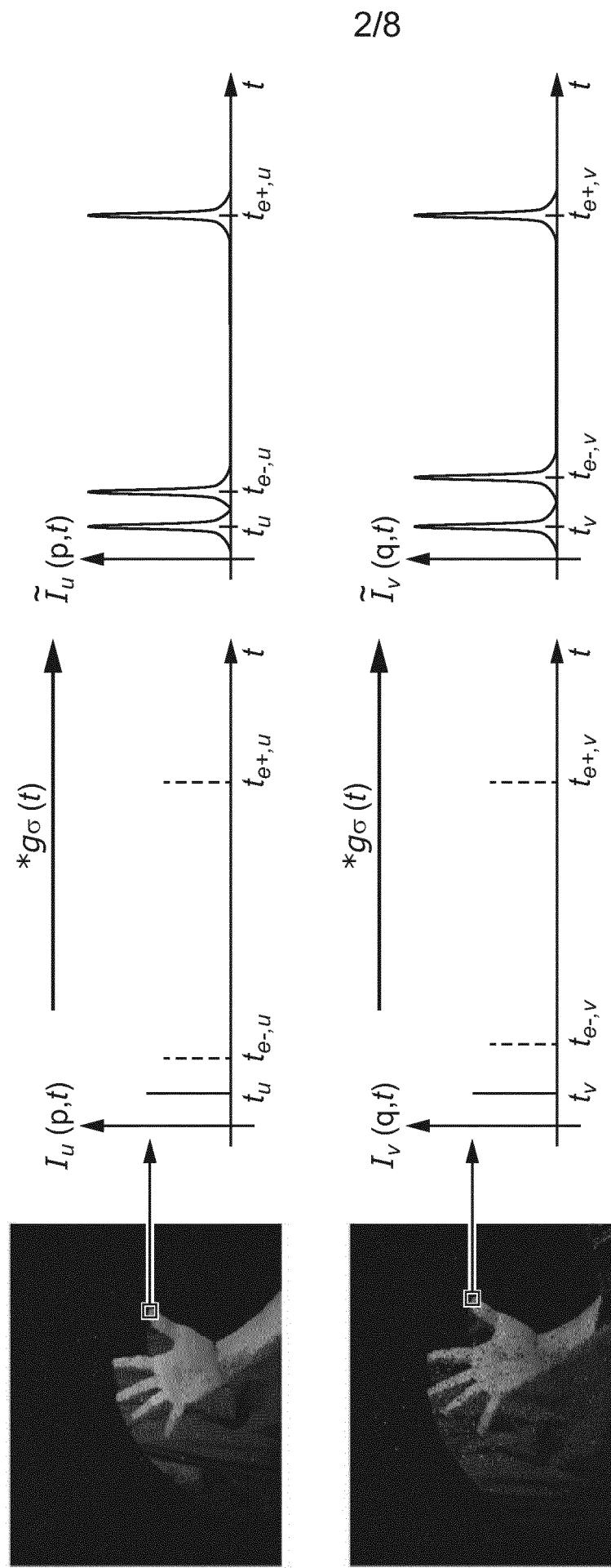


FIG. 3

3/8

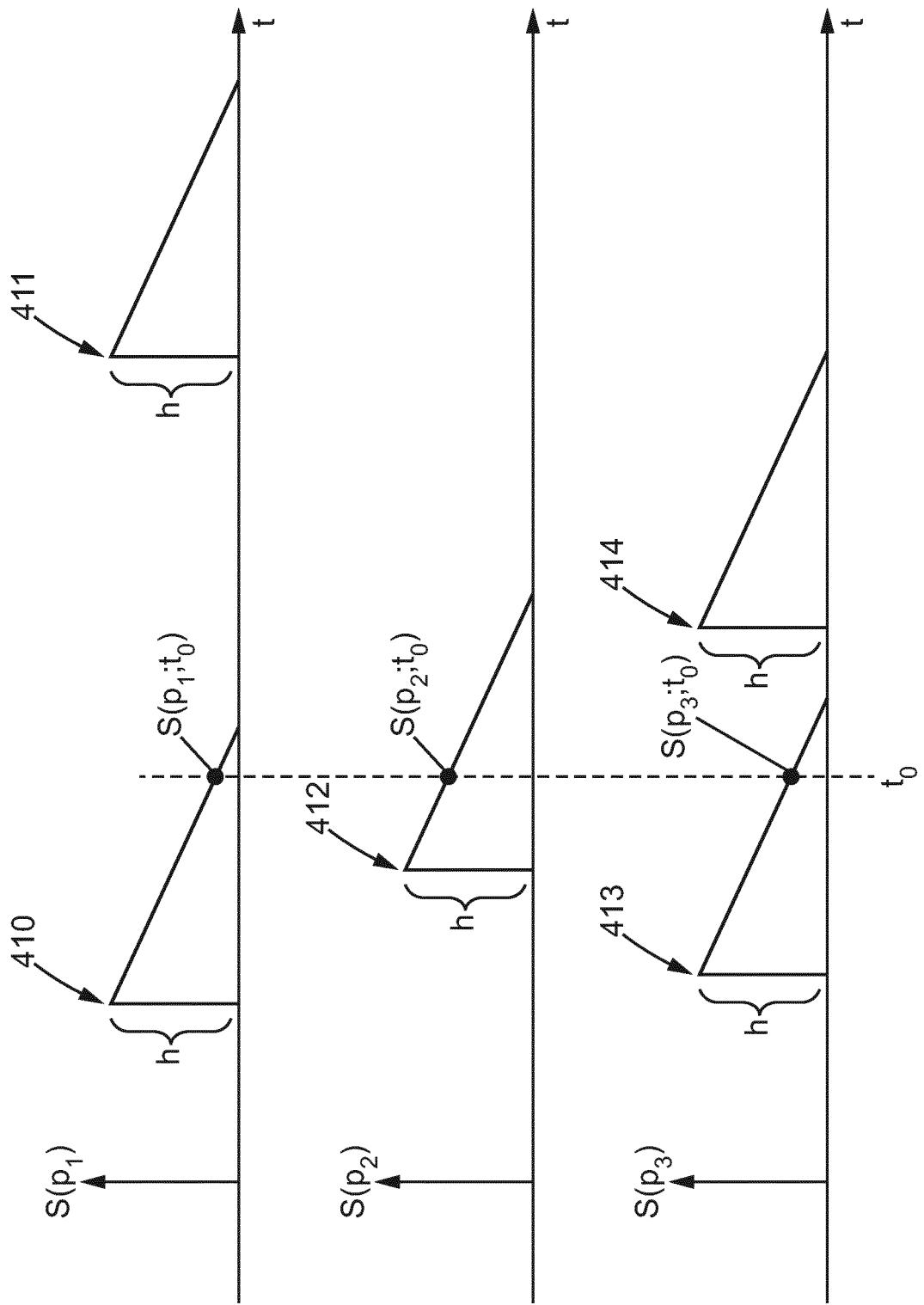


FIG. 4a

4/8

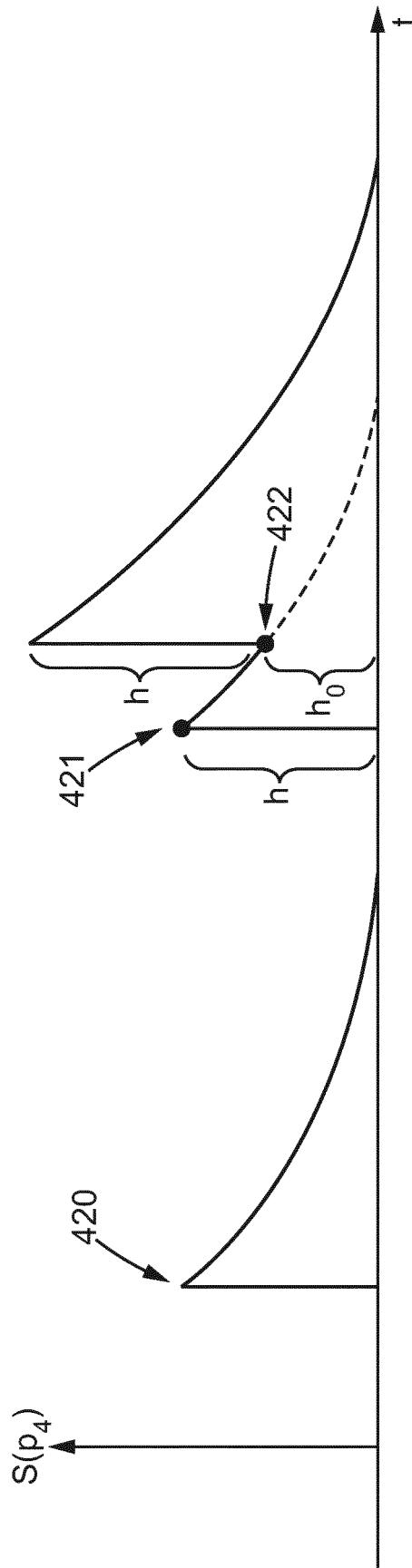


FIG. 4b

5/8

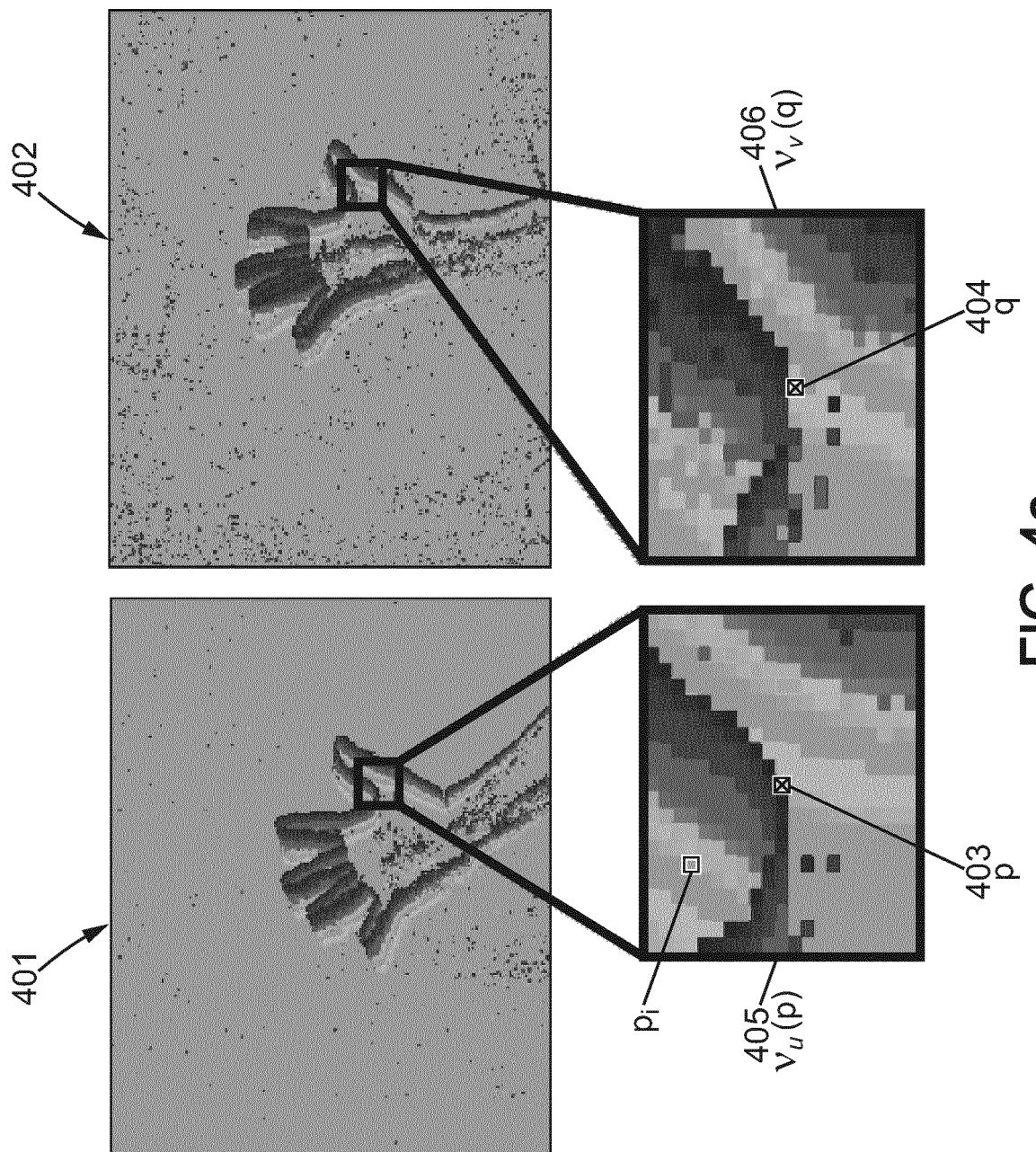
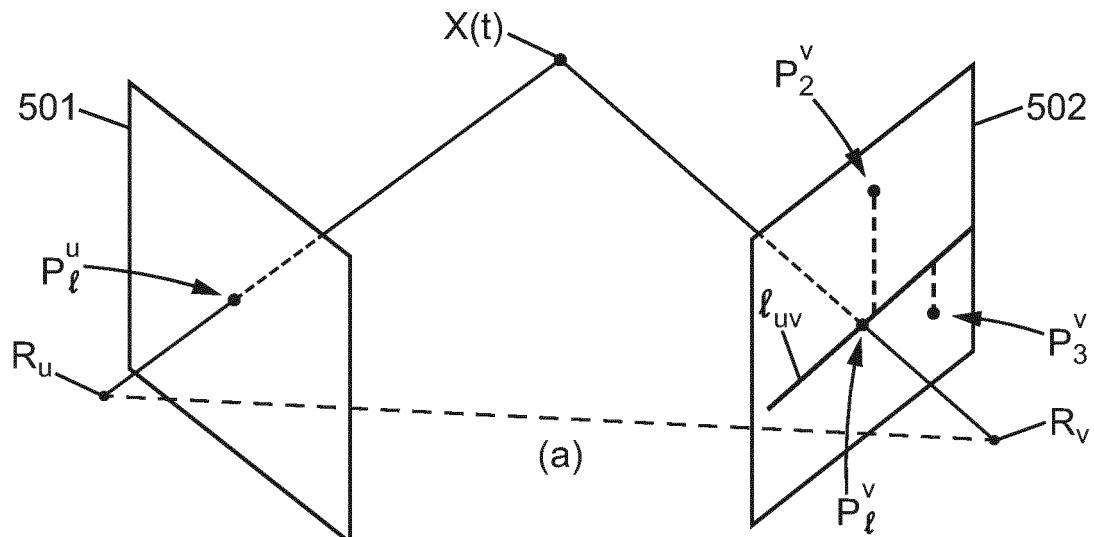
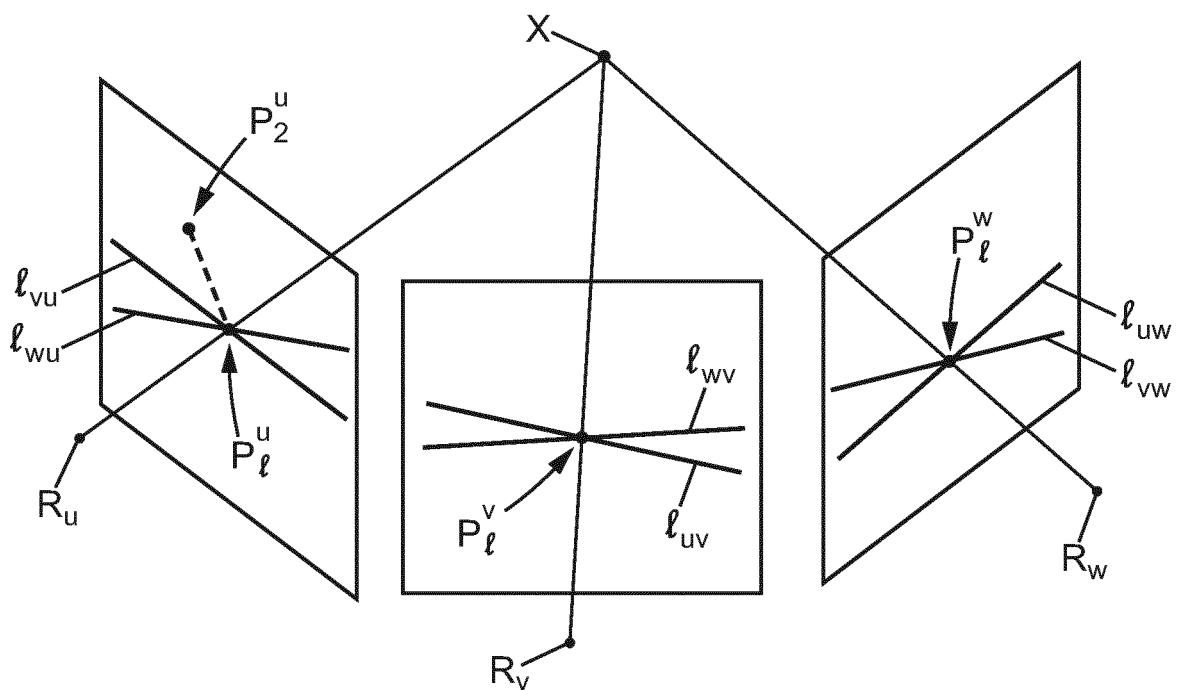


FIG. 4c

6/8

**FIG. 5a****FIG. 5b**

7/8

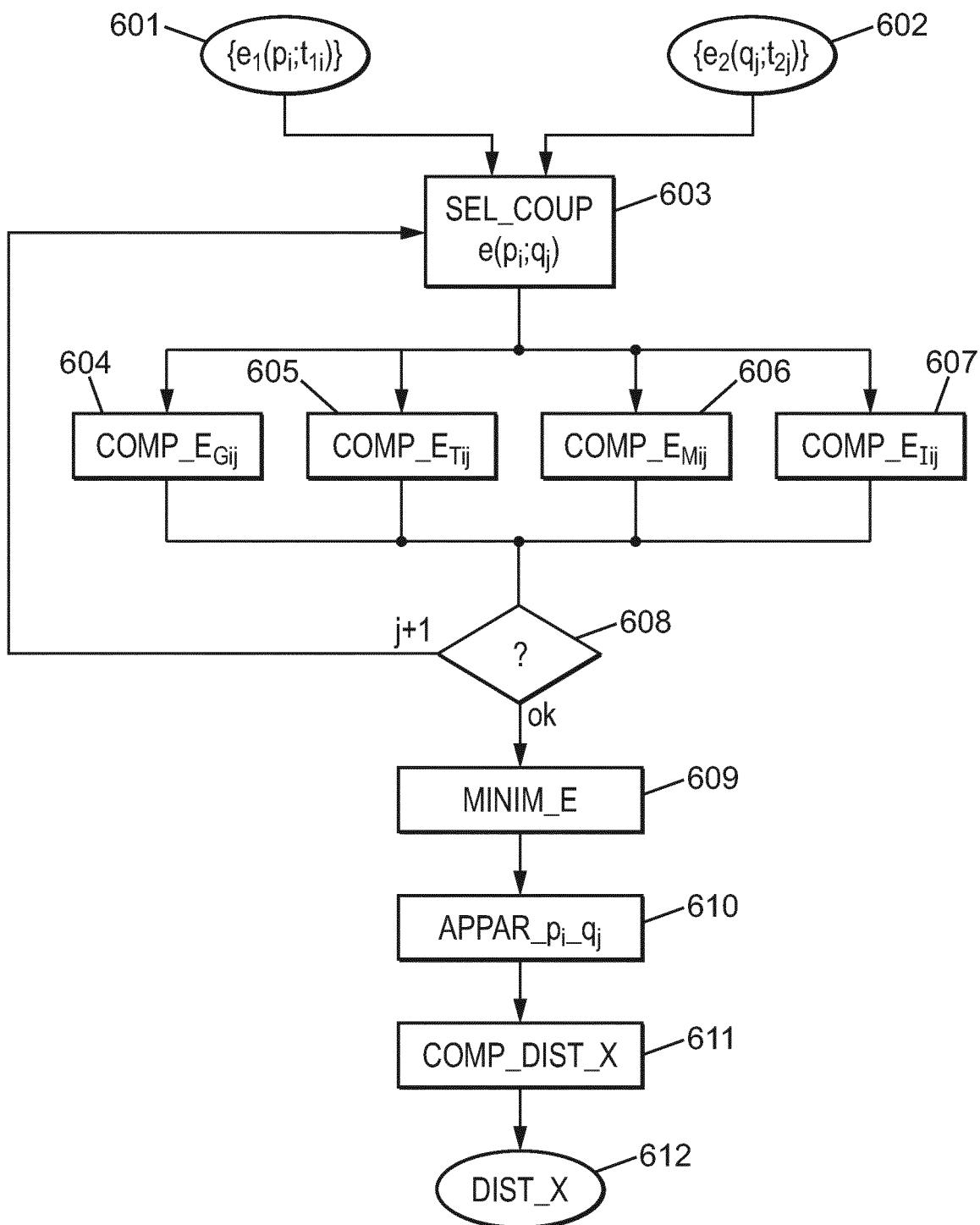
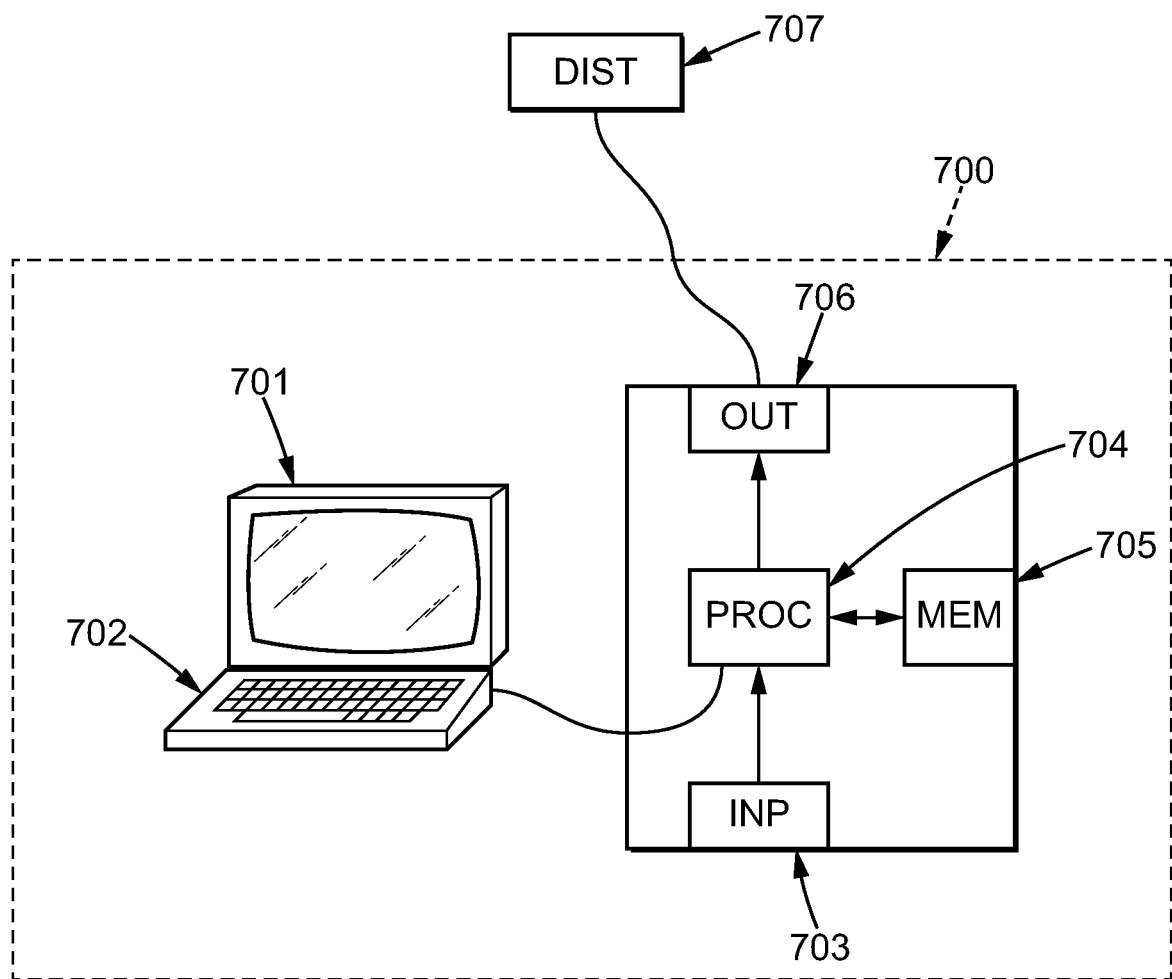


FIG. 6

8/8

**FIG. 7**

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

 établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche
N° d'enregistrement
nationalFA 811357
FR 1552154

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	PAUL ROGISTER ET AL: "Asynchronous Event-Based Binocular Stereo Matching", IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS AND LEARNING SYSTEMS, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, vol. 23, no. 2, 1 février 2012 (2012-02-01), pages 347-353, XP011406609, ISSN: 2162-237X, DOI: 10.1109/TNNLS.2011.2180025	1-10	H04N13/02 G06T7/00
Y	* abrégé * * sections 2+3 *	6-8	
Y	----- JURGEN KOGLER ET AL: "Event-Based Stereo Matching Approaches for Frameless Address Event Stereo Data", 26 septembre 2011 (2011-09-26), ADVANCES IN VISUAL COMPUTING, SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, BERLIN, HEIDELBERG, PAGE(S) 674 - 685, XP019166064, ISBN: 978-3-642-24027-0 * abrégé * * sections 3+4 *	6-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	----- POSCH CHRISTOPH ET AL: "Retinomorphic Event-Based Vision Sensors: Bioinspired Cameras With Spiking Output", PROCEEDINGS OF THE IEEE, IEEE. NEW YORK, US, vol. 102, no. 10, 1 octobre 2014 (2014-10-01), pages 1470-1484, XP011559302, ISSN: 0018-9219, DOI: 10.1109/JPROC.2014.2346153 [extrait le 2014-09-16] * figures 3,6 *	1-10	H04N G06T
1	Date d'achèvement de la recherche 19 janvier 2016	Examinateur Mao, Pauline	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		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	
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			