

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 572 087**

51 Int. Cl.:

G06K 9/62 (2006.01)

G06T 7/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.11.2012 E 12791197 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.02.2016 EP 2786314**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de seguimiento de un objeto en una secuencia de al menos dos imágenes**

30 Prioridad:

02.12.2011 FR 1161075

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

30.05.2016

73 Titular/es:

**MORPHO (100.0%)
11 Boulevard Galliéni
92130 Issy-les-Moulineaux, FR**

72 Inventor/es:

**THOUY, BENOÎT y
BOULANGER, JEAN-FRANÇOIS**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 572 087 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo de seguimiento de un objeto en una secuencia de al menos dos imágenes

El presente invento se refiere a un procedimiento de seguimiento de un objeto en una secuencia de al menos dos imágenes.

5 En el dominio del tratamiento de imágenes, uno de los problemas recurrentes es determinar el correspondiente de un objeto presente en una imagen llamada precedente de esta secuencia de imágenes, en una imagen llamada corriente de esta secuencia de imágenes. Este problema se encuentra en numerosas aplicaciones tales como la reconstrucción de imágenes tridimensionales, la interpolación temporal de secuencias de imágenes basada en el movimiento de los objetos, la segmentación temporal de secuencias de imágenes o aún el seguimiento de objetos.

10 Para el seguimiento de un objeto, este problema es resuelto por la puesta en correspondencia de un objeto presente en la imagen corriente de la secuencia de imágenes a partir del conocimiento de la posición de este objeto en la imagen precedente de esta secuencia de imágenes.

Uno de los métodos utilizados es el método llamado de flujo óptico. El cálculo del flujo óptico consiste en extraer un campo global de velocidades denso a partir de la secuencia de imágenes haciendo la hipótesis de que la intensidad (o el color) es conservada en el curso del desplazamiento del objeto. Por ejemplo, Quénot (The "Orthogonal Algorithm" para Optical Flow Detection using Dynamic Programming, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, San Francisco, CA, Estados Unidos de Norteamérica, 1992) presenta un ejemplo de cálculo de flujo óptico basado en la búsqueda de aproximaciones sucesivas de un campo de desplazamientos entre dos imágenes que minimiza una distancia entre estas imágenes respetando al mismo tiempo ciertas obligaciones de continuidad y de regularidad.,

Los métodos de cálculo del flujo óptico son métodos globales que son adaptados cuando la amplitud del desplazamiento de los centros entre las dos imágenes es pequeña o cuando se conocen a priori informaciones sobre el contexto de seguimiento de este desplazamiento. Por el contrario, este método no es adaptado cuando la amplitud del desplazamiento no es conocida a priori. Este es el caso, en particular, en el caso de aplicaciones de control de validez de una participación de lotería. En efecto, en este tipo de aplicaciones, una participación de lotería está dispuesta sobre una mesa y una cámara adquiere una secuencia de imágenes de esta mesa. Como la participación de lotería es dispuesta por un operador sobre la mesa y luego generalmente colocada por este operador para estar aproximadamente en el centro de esta mesa, el desplazamiento de la participación objeto presente en dos imágenes sucesivas tiene una amplitud que es tal que este desplazamiento no puede ser correctamente aproximado por el cálculo del flujo óptico.

En este tipo de situaciones, es preferible utilizar un método local llamado de emparejamiento de puntos. El principio consiste en formar un primer conjunto de puntos característicos, respectivamente un segundo conjunto, por extracción de puntos característicos del objeto presente en la imagen precedente, respectivamente corriente. Un descriptor local es entonces calculado para cada uno puntos característicos extraídos. A este efecto, se utiliza, por ejemplo, un descriptor SIFT (Scale-Invariant feature transform en inglés), o aún un descriptor SURF (Speed Up Robust Features en inglés). Se calcula a continuación la similitud entre el descriptor de cada punto de la imagen precedente y el descriptor de cada punto de la imagen corriente, y se forman pares de puntos emparejados buscando asociar a cada punto de la imagen precedente un punto de la imagen corriente de manera que se maximice un criterio, habitualmente global, fundado sobre los emparejamientos de puntos considerados y esto bajo la obligación de no utilizar un mismo punto de uno u otro de los conjuntos en los emparejamientos diferentes. Cada par de puntos emparejados permite entonces definir un vector de desplazamiento y el análisis del conjunto de estos vectores de desplazamiento permite estimar un modelo global de desplazamiento del objeto entre las dos imágenes. Este modelo de desplazamiento es entonces, generalmente, utilizado para detectar un objeto comparando la predicción de localización de este objeto en la imagen corriente con un objeto presente en esta imagen corriente.

Cuando el objeto presenta una repetición de un mismo motivo sobre la mayor parte de su superficie, tal como por ejemplo una rejilla de participación de lotería, un número importante de puntos de la imagen corriente presenta la misma similitud con relación a un mismo punto de la imagen precedente. De ello se sigue una ambigüedad de emparejamiento de puntos pues cada punto de la imagen precedente puede ser emparejado de manera indiferente a varios puntos de la imagen corriente, y elegir uno de estos puntos de manera aleatoria puede conducir a una estimación errónea del desplazamiento global del objeto.

Para resolver estas ambigüedades, es entonces conocido en el estado de la técnica un método de emparejamiento de puntos tal como por ejemplo el método de voto mayoritario sobre la transformación generalizada de Hough o el método RANSAC (RANDOM SAmple Consensus en inglés).

De manera general, el voto mayoritario sobre la transformada de Hough es un método determinista que permite estimar los parámetros de un modelo paramétrico que representa un conjunto de datos observados. El principio consiste en rellenar una tabla acumulativa que convierte en discreto el espacio de asignación de parámetros del modelo. Para cada combinación mínima de datos, se calcula un modelo y se incrementa la casilla de la tabla correspondiente al modelo según la conversión en elementos discretos de la tabla. Después de haber repetido el proceso sobre el conjunto de las combinaciones mínimas de datos posibles, el máximo de la tabla da el conjunto de parámetros correctos

(aproximadamente a la cuantificación).

Este tipo de transformación ha sido empleado en el caso de puesta en correspondencia de huellas digitales (Handbook of Fingerprint Recognition, Davide Maltoni y col., págs. 184-186, 2003).

5 Aplicados a la determinación del desplazamiento de objeto entre dos imágenes, los datos de entrada de la transformada generalizada de Hough son el conjunto de los pares de puntos emparejados y el modelo es un modelo paramétrico de desplazamiento de un objeto (rotación/traslación u homografía).

De manera general, el método RANSAC es un método iterativo que permite estimar los parámetros de un modelo paramétrico a partir de un conjunto de datos observados que contienen valores aberrantes (outliers en inglés). Se trata de un método no determinista en el sentido de que permite estimar el buen modelo con una cierta probabilidad
10 solamente, aumentando ésta a medida que el número de iteraciones es grande. El método ha sido publicado por primera vez por Fischler y Bolles en 1981 (Martin A. Fischler y Robert C. Bolles, « Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography » en Comm. Of de ACM, vol. 24, junio de 1981, págs. 381-395). La hipótesis de base de este método es que los datos están constituidos de valores típicos "valores típicos", a saber los datos cuya distribución puede ser explicada por un conjunto de parámetros del modelo, y de valores atípicos "outliers" que son por tanto los datos que no corresponden a este conjunto de parámetros elegidos. Los
15 valores aberrantes pueden venir, por ejemplo, de los valores extremos de un ruido, de medidas erróneas o de hipótesis falsas en cuanto a la interpretación de los datos.

Aplicados a la determinación del desplazamiento de objeto entre dos imágenes, los datos de entrada del método de RANSAC son un conjunto de pares de puntos emparejados, comprendiendo cada par un punto de la imagen corriente emparejado con un punto de la imagen precedente, y un modelo paramétrico de desplazamiento es una rotación, traslación, u homografía.
20

El método RANSAC consiste entonces en seleccionar aleatoriamente pares de puntos emparejados, llamados valores típicos "valores típicos" candidatos, que no presentan conflictos entre ellos, es decir que no tienen en común un mismo punto de la imagen precedente o un mismo punto de la imagen corriente. El número de valores típicos candidatos depende de la complejidad del modelo, fundamentalmente del número de informaciones necesarias para calcular todos los parámetros del modelo. Por ejemplo, el número de valores típicos es igual a 2 para una traslación/rotación y a 4 para una homografía.
25

El conjunto de pares de puntos emparejados así seleccionados es entonces probado de la siguiente manera:

- 30 - los parámetros del modelo de desplazamiento son ajustados a los valores típicos candidatos, es decir que todos los parámetros libres del modelo son estimados a partir de este conjunto de pares de puntos emparejados,
- todos los demás pares de puntos emparejados posibles son a continuación probados sobre el modelo así estimado. Si un par de puntos emparejados corresponde bien al modelo estimado entonces es considerado como un valor típico del modelo,
- 35 - el modelo estimado es a continuación considerado como correcto si un número suficiente de pares han sido clasificados como valores típicos del modelo,
- de manera ocasional, el modelo es estimado de nuevo a partir del conjunto de sus valores típicos,
- finalmente, el modelo es evaluado por su número de valores típicos y ocasionalmente por el error medio entre las coordenadas de los puntos de la imagen corriente de los pares de valores típicos del modelo y las coordenadas calculadas por aplicación del modelo sobre los puntos de la imagen precedente de los pares de valores típicos del modelo.
40

Este procedimiento es repetido un número predeterminado de veces, produciendo cada vez o bien un modelo que es rechazado porque un número demasiado pequeño de puntos son clasificados como valores típicos, o bien un modelo reajustado y una medida de error correspondiente. En este último caso, se conserva el modelo evaluado del nuevo si su error es menor que el del modelo precedente.

45 El artículo por P. Perez y N. García "Robust and Accurate Registration of Images with Unknown Relative Orientation and Exposure ", International Conference on Image Processing, 2005 propone detectar puntos salientes (esquinas), caracterizar estos puntos con ayuda de descriptores (momentos de Zernike), y luego identificarlos en las diferentes imágenes en que se desea seguir el objeto en cuestión. A este efecto, se emplean medidas de similitud durante la asociación de los puntos salientes.

50 Además, el artículo por B. Li y col., "Rank-SIFT: Learning to rank repeteable local interest points", International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011, busca igualmente identificar los puntos más discriminatorios en diferentes imágenes, sin enlazarlos con los otros candidatos en diferentes imágenes.

En cuanto al artículo por S. Xia y col., "Ranking the local invariant features for the robust visual saliencies", International Conference on Image Processing, 2008, realiza una clasificación basada sobre la característica sobresaliente de los

puntos.

Estos métodos de emparejamiento de puntos por voto mayoritario no son adaptados cuando el objeto presenta grandes zonas sobre las que un mismo motivo es repetido tales como rejillas de un participación de lotería porque como cada punto de la imagen precedente puede ser asociado de manera indiferente a un gran número de puntos candidatos de la imagen corriente, estos métodos de estimación de parámetros del modelo apenas llegan a distinguir el modelo real de desplazamiento entre el conjunto de los modelos posibles.

El problema resuelto por el presente invento es remediar los inconvenientes suscitados.

A este efecto, el presente invento se refiere a un procedimiento de seguimiento de un objeto en una secuencia de al menos dos imágenes llamadas precedente y corriente, incluyendo dicho procedimiento las siguientes operaciones:

- 5 - formar un primer conjunto de puntos, respectivamente un segundo conjunto, por extracción de puntos característicos de este objeto en la imagen precedente, respectivamente corriente,
- calcular un descriptor total para cada uno de los puntos característicos extraídos,
- cuantificar la disimilitud entre el descriptor de cada punto del primer conjunto de puntos y el descriptor de cada punto del segundo conjunto de puntos,
- 15 - formar pares de puntos emparejados para cada punto del primer conjunto de puntos en función de las disimilitudes entre descriptores así cuantificados, asociando cada par de puntos emparejados un punto del primer conjunto de puntos con un punto del segundo conjunto de puntos,
- estimar los parámetros de un modelo de desplazamiento del objeto entre las dos imágenes a partir de los pares de puntos emparejados así formados.
- 20 El procedimiento está caracterizado, según el presente invento, porque la operación de estimación de los parámetros del modelo de desplazamiento va precedida de una operación de selección de los pares de puntos emparejados utilizados para estimar los parámetros del modelo de desplazamiento, en el curso de la cual dichos pares de puntos emparejados son únicamente seleccionados entre aquellos que son relativos a puntos del primer conjunto de puntos que son singulares, siendo cada punto del primer conjunto de puntos un punto singular,
- 25 - por una parte, si la disimilitud menor entre el descriptor de este punto del primer conjunto de puntos y el descriptor de un punto del segundo conjunto de puntos es inferior a un umbral predeterminado, y
- estando los puntos del segundo conjunto de puntos que son relativos a este punto del primer conjunto, ordenados por disimilitud creciente para formar una lista de puntos ordenados, si, por otra parte, existe un índice K_i de esta lista tal que la disimilitud sea inferior a un valor predeterminado y que este índice K_i es tal que la desviación entre la disimilitud entre el punto del primer conjunto de puntos y el punto del segundo conjunto de puntos que es relativo a este índice K_i , y la disimilitud entre el punto del primer conjunto de puntos y el punto del segundo conjunto que es relativo al índice que sigue al índice K_i , es inferior a un umbral predeterminado.
- 30

La operación de selección permite no conservar más que los puntos de la imagen precedente que tienen una buena similitud con al menos un punto de la imagen corriente no conservar más que los emparejamientos entre cada uno de estos puntos de la imagen precedente con los puntos de la imagen corriente que son los más similares en el sentido de los descriptores. Esta operación permite igualmente rechazar los puntos que pueden ser emparejados de forma indiferente con un gran número de puntos. Así, esta selección de pares de puntos emparejados permite no conservar más que los pares de puntos emparejados más significativos lo que permite reducir los errores de emparejamiento y aumentar por tanto la robustez de la estimación del modelo de desplazamiento de un objeto sobre el que es repetido un mismo motivo.

El invento se refiere igualmente a un dispositivo que incluye medios para poner en práctica el procedimiento, un programa de ordenador, que puede ser almacenado sobre un soporte y/o descargado de una red de comunicación, a fin de ser leído por un sistema informático o un procesador. Este programa de ordenador comprende instrucciones para implementar el procedimiento mencionado anteriormente, cuando dicho programa es ejecutado por el sistema informático o el procesador. El invento se refiere igualmente a medios de almacenamiento que comprenden tal programa de ordenador.

Las características del invento mencionadas anteriormente, así como otras, aparecerán más claramente con la lectura de la descripción siguiente de un ejemplo de realización, estando hecha dicha descripción en relación con los dibujos adjuntos, entre los cuales.

La fig. 1 representa un diagrama de las operaciones del procedimiento de seguimiento de objeto según el presente invento.

Las figs. 2 y 3 ilustran operaciones del procedimiento de seguimiento de objeto.

La fig. 4 ilustra un modo de realización del procedimiento de seguimiento de objeto.

La fig. 5 ilustra esquemáticamente la arquitectura de un dispositivo previsto para poner en práctica el procedimiento de emparejamiento.

5 De manera general, el procedimiento de seguimiento de un objeto en una secuencia de al menos dos imágenes llamadas precedente I_p y corriente I_c tal como se ha ilustrado en la fig. 1, incluye una operación 1 para formar un primer conjunto E_p de puntos $E_p = \{P_p(1), \dots, P_p(i), \dots, P_p(N)\}$ por extracción de N puntos característicos $P_p(i)$ del objeto presente en la imagen I_p y para formar segundo conjunto E_c de puntos $E_c = \{P_c(1), \dots, P_c(i), \dots, P_c(M)\}$ por extracción de M puntos característicos $P_c(j)$ del objeto presente en la imagen I_c tal como se ha ilustrado en la fig. 2 en que N es aquí igual a 1 y M es igual a 5. Éstos valores enteros N y M no están dados aquí más que a título de ejemplo y no sabrían limitar el alcance del procedimiento.

Los puntos característicos son extraídos por un método conocido en el estado de la técnica tal como por ejemplo un detector de Harris o un detector de Moravec. Sin embargo, el procedimiento no está en ningún modo limitado a la utilización de estos detectores sino que puede aplicarse cualquiera que sea el método de extracción de puntos característicos utilizado.

15 El procedimiento incluye también una operación 2 para calcular un descriptor local $D(P_p(i))$ para cada uno de los N puntos característicos extraídos y un descriptor $D(P_c(j))$ para cada uno de los M puntos característicos extraídos. los descriptores son por ejemplo descriptores SIFT (Scale Invariant Feature Transform en inglés) o SURF (Speed Up Robust Features en inglés). Sin embargo, el procedimiento no está limitado en ningún modo a estos descriptores sino que puede aplicarse cualquiera que sea el método utilizado para describir las características visuales de una proximidad de un punto característico.

20 El procedimiento incluye, además, una operación 3 para cuantificar la disimilitud entre el descriptor $D(P_p(i))$ de cada punto $P_p(i)$ de la imagen I_p y el descriptor $D(P_c(j))$ de cada punto $P_c(j)$ de la imagen I_c . Por ejemplo, una función de disimilitud $DIS[D(P_p(i)), D(P_c(j))]$ es definida por $1 - SIM[D(P_p(i)), D(P_c(j))]$ con $SIM[D(P_p(i)), D(P_c(j))]$ una función de similitud definida entre descriptores por ejemplo por la norma L_1 o L_2 en el espacio de los descriptores, y normalizada a 1. Otros métodos conocidos del estado de la técnica pueden ser utilizados sin salir por tanto del alcance del presente invento. Además, en lo que sigue, los procedimientos son descritos utilizando la disimilitud $DIS[D(P_p(i)), D(P_c(j))]$ entre descriptores. Sin embargo, procedimientos que utilizaría la similitud entre descriptores en lugar de la disimilitud no salen del alcance del presente invento.

30 El procedimiento incluye igualmente una operación 4 para formar M pares de puntos emparejados para cada punto $P_p(i)$ en función de las disimilitudes entre descriptores así cuantificadas, asociando cada par $C(i,j)$ de puntos emparejados un punto $P_p(i)$ con un punto $P_c(j)$. Por ejemplo, estos M pares $C(i,j)$ de puntos emparejados al punto $P_p(i)$ corresponden a los puntos del segundo conjunto que tienen las disimilitudes menores con relación a este punto $P_p(i)$.

35 El procedimiento incluye una operación (5) de selección de pares de puntos emparejados y una operación 6 de estimación de los parámetros de un modelo de desplazamiento del objeto entre las imágenes precedente y corriente a partir del conjunto de los pares de puntos emparejados así seleccionados y no de los $M \times N$ pares de puntos emparejados como es el caso en el estado de la técnica.

En el curso de la operación 5, dos pares de puntos emparejados, que son utilizados para estimar los parámetros del modelo de desplazamiento, son únicamente seleccionados entre aquellos que son relativos a puntos del primer conjunto de puntos que son singulares.

40 Cada punto $P_p(i)$ del primer conjunto de puntos es un punto singular:

- por una parte, si la menor disimilitud entre el descriptor de este punto $P_p(i)$ y el descriptor de un punto $P_c(j)$ del segundo conjunto de puntos es inferior a un umbral predeterminado TH1 y,

45 - estando los puntos $P_c(j)$ que son relativos a este punto $P_p(i)$ ordenados por disimilitud creciente para formar una lista P_c^i de puntos ordenados, si, por otra parte, existe un índice K_i de esta lista tal de la disimilitud $DIS[D(P_p(i)), D(P_c(j))]$ sea inferior al valor predeterminado TH2 y que este índice K_i es tal que la desviación entre la disimilitud entre el punto $P_p(i)$ y el punto $P_c(K_i)$ que es relativa a este índice K_i , y la disimilitud entre el punto del primer conjunto de puntos y el punto $P_c(K_i + 1)$ del segundo conjunto que es relativo al índice que sigue al índice K_i , es superior a un umbral predeterminado TH3.

50 Según un modo de realización de la operación 5 ilustrado en la fig. 3, para cada punto $P_p(i)$ los puntos $P_c(j)$ salidos de los M pares $C(i,j)$ asociados a este punto $P_p(i)$ son ordenados según su disimilitud creciente entre su descriptor y el del punto $P_p(i)$ que forma la lista P_c^i . El punto $P_c^i(1)$ es entonces el punto cuya disimilitud es la menor es decir que el punto $P_c^i(1)$ es aquel de los puntos $P_c(j)$ que se parece más al punto $P_p(i)$ en términos de descriptores y el punto $P_c^i(M)$ es aquel de los puntos $P_c(j)$ que se parece menos al punto $P_p(i)$.

Así, la primera condición para que el punto $P_p(i)$ sea un punto singular es que la disimilitud $DIS[D(P_p(i)), D(P_c^i(1))]$ entre el punto $P_c^i(1)$ y el punto $P_p(i)$ sea inferior al umbral TH1.

La segunda condición que debe ser verificada es la siguiente. La disimilitud $DIS[D(P_p(i)),D(P_c^i(K_i))]$ debe, por una parte, ser inferior al umbral TH2. La desviación entre la disimilitud $DIS[D(P_p(i)),D(P_c^i(K_i))]$ entre el descriptor del punto $P_p(i)$ y el descriptor del punto $P_c^i(K_i)$ y la disimilitud $DIS[D(P_p(i)),D(P_c^i(K_i+1))]$ entre el descriptor del punto $P_p(i)$ y el descriptor del punto $P_c^i(K_i+1)$ (que sigue al punto $P_c^i(K_i)$ en el orden creciente de disimilitud) es calculada. La segunda condición es verificada si, por otra parte, esta desviación de disimilitud es superior al umbral TH3.

El valor K_i no está fijado a priori, y es propio en cada punto $P_p(i)$ y K_i puede cambiar por tanto para cada punto $P_p(i)$. El valor K_i es inicialmente igual a 1 y si la desviación entre la disimilitud $DIS[D(P_p(i)),D(P_c^i(1))]$ y $DIS[D(P_p(i)),D(P_c^i(2))]$ es inferior a TH3, el índice K_i es incrementado en 1. Si la desviación entre la disimilitud $DIS[D(P_p(i)),D(P_c^i(2))]$ y $DIS[D(P_p(i)),D(P_c^i(3))]$ es aún inferior a TH3, el índice K_i es de nuevo incrementado en 1 y así sucesivamente hasta que la desviación entre la disimilitud $DIS[D(P_p(i)),D(P_c^i(K_i))]$ y $DIS[D(P_p(i)),D(P_c^i(K_i+1))]$ sea superior a TH3 y en tanto que la disimilitud $DIS[D(P_p(i)),D(P_c^i(K_i))]$ permanezca inferior a TH2.

Si una de las condiciones anterior no se verifica, el punto $P_p(i)$ no es considerado como un punto singular y $K_i=0$.

Según un modo de realización de las operaciones 5 y 6, K_i pares de puntos emparejados son seleccionados entre los pares de puntos emparejados relativos a cada punto singular $P_p(i)$, siendo dichos K_i pares de puntos emparejados aquellos que tienen las menores disimilitudes. Según el ejemplo de la fig. 3, solo los tres primeros pares de puntos emparejados son seleccionados ($K_i =3$). Los parámetros del modelo de desplazamiento del objeto son entonces estimados por voto mayoritario a partir de los $K = \sum_{i=0}^N K_i$ pares de puntos emparejados así seleccionados y no los $M \times N$ pares de puntos emparejados como es el caso en el estado de la técnica.

Según una variante de este modo de realización ilustrado en la fig. 4, un coste geométrico $G(i,j)$ está asociado a cada uno de los K_i pares $C(i,j)$ de puntos emparejados ($P_p(j),P_c(j)$). Este coste geométrico $G(i,j)$ es una función del error entre la estimación $\hat{P}_p(i)$ de la localización del punto $P_p(i)$ en la imagen I_c según el modelo de desplazamiento así estimado y la localización del punto $P_c(j)$. L_i de los K_i pares de puntos emparejados $C(i,j)$ son entonces considerados por punto $P_p(i)$. L_i es un valor entero. Dichos L_i pares de puntos emparejados corresponden a los puntos $P_c(j)$ que minimizan una función que combina, por una parte, sus disimilitudes con el punto $P_p(i)$ y, por otra parte, sus costes geométricos $G(i,j)$. Por ejemplo, esta función viene dada por $DIS[D(P_p(j)),D(P_c(i))] + \alpha \cdot G(i,j)$ siendo α un factor de ponderación fijado a priori y el coste geométrico $G(i,j)$ es la distancia euclidiana entre la estimada $\hat{P}_p(i)$ de la localización del punto $P_p(i)$ y la localización del punto $P_c(j)$ que le es emparejado.

En otros términos, los L_i puntos son los puntos que son los más similares con el punto $P_p(i)$ considerado y cuyas predicciones en la imagen corriente son las más próximas geográficamente de este punto.

Los parámetros del modelo de desplazamiento del objeto son entonces estimados por voto mayoritario a partir de los $L = \sum_{j=1}^N L_i$ pares de puntos emparejados así seleccionados.

Este modo de realización es ventajoso pues la toma en cuenta de una obligación geométrica para la selección de los puntos de la imagen corriente candidatos para ser emparejados con un punto de la imagen precedente permite evitar aberraciones de emparejamiento que se producen cuando dos puntos emparejados son de hecho puntos del objeto cuyo emparejamiento no respeta la geometría del objeto.

Según un modo de realización, el desplazamiento del objeto es modelado por una traslación y/o una rotación definida o definidas en un plano (x,y) y los parámetros de este modelo son estimados a partir del conjunto bien de los K, o bien de los L pares de puntos emparejados seleccionados $C(i,j)$.

Según un modo preferido, el desplazamiento del objeto es modelado por una homografía y los parámetros de este modelo son estimados a partir del conjunto de los L pares de puntos emparejados seleccionados $C(i,j)$.

La estimación del desplazamiento por homografía permite entonces tener un modelo del desplazamiento del objeto muy preciso y la estimación de la localización del objeto en la imagen corriente está entonces muy próxima del objeto realmente presente en esta imagen y esto incluso si la amplitud del desplazamiento de este objeto entre las dos imágenes es importante. La fiabilidad de detección del objeto en la imagen corriente es entonces aumentada.

Según un modo de realización preferido, la estimación de los parámetros de un modelo de desplazamiento del objeto es realizada por un método RANSAC que toma como entrada bien los K o bien los L pares de puntos emparejados así seleccionados para cada punto $P_p(i)$. Los detalles de este modelo RANSAC se encuentran en el artículo « Deterministic Sample Consensus with Multiple Match Hypotheses », Maclroy, Rosten, Taylor et Drummond, BMVC 2010.

Según un modo de realización, la estimación de los parámetros del modelo de desplazamiento es realizada por una transformada de Hough que toma como entrada bien los K o bien los L pares de puntos emparejados así seleccionados para cada punto $P_p(i)$.

A título de ejemplo, la estimación de los parámetros del modelo de desplazamiento, aquí una traslación/rotación, es realizada de la manera siguiente por voto mayoritario sobre la transformada de Hough. Para cada par de puntos emparejados $(P_p(i_1), P_c(j_1))$ entre los K o L pares seleccionados (operación 5) y para cada par de puntos emparejados $(P_p(i_2), P_c(j_2))$ entre los K o L pares seleccionados (operación 5) elegidos tales que $i_1 \neq i_2, j_1 \neq j_2$.

5 Las ecuaciones para calcular una traslación-rotación, se escriben:

$$x_{i2} = S \cdot \cos\theta \cdot x_{i1} - S \cdot \text{sen}\theta \cdot y_{i1} + T_x$$

$$y_{i2} = S \cdot \text{sen}\theta \cdot x_{i1} + S \cdot \cos\theta \cdot y_{i1} + T_y$$

$$x_{j2} = S \cdot \cos\theta \cdot x_{j1} - S \cdot \text{sen}\theta \cdot y_{j1} + T_x$$

$$y_{j2} = S \cdot \text{sen}\theta \cdot x_{j1} + S \cdot \cos\theta \cdot y_{j1} + T_y$$

10 El parámetro de escala S es ignorado aquí.

Se calculan pues los parámetros θ, T_x y T_y de la transformación a partir de este sistema de ecuaciones, luego se les hace discretos según la conversión en elementos discretos de un cubo de voto. El cubo de voto es aquí una tabla de 3 dimensiones, haciendo discreta Q_x lotes la traslación T_x en un intervalo $[T_x^{\min}, T_x^{\max}]$, haciendo discreta Q_y lotes la traslación T_y en un intervalo $[T_y^{\min}, T_y^{\max}]$ y haciendo discreto Q_θ lotes el ángulo de rotación θ en un intervalo $[T_\theta^{\min}, T_\theta^{\max}]$.

15 Se incrementa entonces la casilla del cubo de voto de coordenadas $\left(\left[\frac{T_x - T_x^{\min}}{T_x^{\max} - T_x^{\min}}, Q_x \right], \left[\frac{T_y - T_y^{\min}}{T_y^{\max} - T_y^{\min}}, Q_y \right], \left[\frac{T_\theta - T_\theta^{\min}}{T_\theta^{\max} - T_\theta^{\min}}, Q_\theta \right] \right)$, donde $[x]$ es la parte entera de x. Un alisado del cubo de

voto por un filtro de tamaño 3 es efectuado preferiblemente a fin de minimizar las imprecisiones de los modelos calculados. La traslación-rotación elegida es entonces la que corresponde al caso del cubo de voto que contiene el valor más elevado.

20 La fig. 5 representa esquemáticamente una arquitectura de un dispositivo previsto para poner en práctica el procedimiento.

El dispositivo 500 incluye, unidos por un bus de comunicación 501:

- un procesador, microprocesador, microcontrolador (denominado μc) o CPU (Central Processing Unit en inglés o Unidad Central de Tratamiento en español) 502;

25 - una memoria viva RAM (Random Access Memory en inglés o Memoria de Acceso Aleatorio en español) 503;

- una memoria muerta ROM (Read Only Memory en inglés o Memoria solo de Lectura en español) 504;

- un lector 505 de medio de almacenamiento, tal como un lector de tarjeta SD (Secure Digital Card en inglés o Tarjeta Digital Protegida en español); y

- medios de interfaz 506 con una red de comunicación, como por ejemplo una red de radiotelefonía celular.

30 El microcontrolador 502 es capaz de ejecutar instrucciones cargadas en la RAM 503 a partir de la ROM 504, de una memoria externa (no representada), de un soporte de almacenamiento, tal como una tarjeta SD u otra, o de una red de comunicación. Cuando el dispositivo 500 es puesto bajo tensión, el microcontrolador 502 es capaz de leer de la RAM 503 instrucciones y ejecutarlas. Estas instrucciones forman un programa de ordenador que causa la puesta en práctica, por el microcontrolador 502, de la totalidad o parte de los procedimientos descritos anteriormente en relación con la fig. 1.

35 La totalidad o parte de los procedimientos descritos anteriormente en relación con la fig. 1 puede ser implementada en forma de programa por ejecución de un conjunto de instrucciones por una máquina programable, tal como un DSP (Digital Signal Processor en inglés o Procesador de Señal Digital en español) o un microcontrolador, tal como el microcontrolador 502, o ser implementada en forma material por una máquina o un componente dedicado, tal como un FPGA (Field-Programmable Gate Array o Agrupación de Puertas Programables de Campo en español) o un ASIC (Application-Specific Integrated Circuit o Circuito Integrado de Aplicación Específica en español).

40

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de seguimiento de un objeto en una secuencia de al menos dos imágenes llamadas precedente y corriente, incluyendo dicho procedimiento las siguientes operaciones:
 - 5 - formar (1) un primer conjunto de puntos $E_p = \{P_p(1), \dots, P_p(i), \dots, P_p(N)\}$, respectivamente un segundo conjunto $E_c = \{P_c(1), \dots, P_c(i), \dots, P_c(M)\}$, por extracción de puntos característicos de este objeto en la imagen precedente, respectivamente corriente,
 - calcular (2) un descriptor local ($D(P_p(i)); D(P_c(j))$) para cada uno de los puntos característicos extraídos,
 - cuantificar (3) la disimilitud entre el descriptor de cada punto del primer conjunto de puntos y el descriptor de cada punto del segundo conjunto de puntos,
 - 10 - formar (4) pares de puntos emparejados ($C(i,j)$) para cada punto del primer conjunto de puntos en función de las disimilitudes entre descriptores así cuantificados, asociando cada par de puntos emparejados un punto del primer conjunto de puntos con un punto del segundo conjunto de puntos,
 - estimar (6) los parámetros de un modelo de desplazamiento del objeto entre las dos imágenes a partir de los pares de puntos emparejados así formados,
 - 15 en el que la operación de estimación de los parámetros del modelo de desplazamiento va precedida de una operación (5) de selección de los pares de puntos emparejados utilizados para estimar los parámetros del modelo de desplazamiento, en el curso de la cual dichos pares de puntos emparejados son únicamente seleccionados entre aquellos que son relativos a puntos del primer conjunto de puntos que son singulares, siendo cada punto del primer conjunto de puntos un punto singular, caracterizado por que:
 - 20 - por una parte, si la menor disimilitud entre el descriptor de este punto del primer conjunto de puntos y el descriptor de un punto del segundo conjunto de puntos es inferior a un umbral predeterminado (TH1) y,
 - estando los puntos del segundo conjunto de puntos que son relativos a este punto del primer conjunto de puntos ordenados por disimilitud creciente para formar una lista (P_c^i) de puntos ordenados, si, por otra parte, existe un índice K_i de esta lista tal que la disimilitud ($DIS[D(P_p(i)), D(P_c(j))]$) sea inferior a un valor predeterminado (TH2) y que este índice K_i es tal que la desviación entre la disimilitud entre el punto ($P_p(i)$) del primer conjunto de puntos y el punto ($P_c^i(K_i)$) del segundo conjunto de puntos que es relativo a este índice K_i , y la disimilitud entre el punto del primer conjunto de puntos y el punto ($P_c(K_i+1)$) del segundo conjunto que es relativo al índice que sigue al índice K_i , es inferior a un umbral predeterminado (TH3).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que los pares de puntos emparejados seleccionados por punto singular son aquellos que tienen las disimilitudes menores con relación a este punto singular, y la operación de estimación está basada sobre un conjunto de K pares de puntos emparejados que reagrupan los pares de puntos emparejados así seleccionados para cada punto singular.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, en el que un coste geométrico ($G(i,j)$) está asociado a cada uno de los K_i pares de puntos emparejados así seleccionados, siendo dicho coste geométrico una función del error entre la estimación, según el modelo de desplazamiento así estimado, de la localización del punto de la imagen precedente en la imagen corriente y la localización del punto que le está emparejado en la imagen corriente,
 - 35 - un número entero L_i de los K_i pares de puntos emparejados son entonces seleccionados por punto de la imagen precedente, correspondiendo dichos L_i pares de puntos emparejados a los puntos de la imagen corriente que minimizan una función que combina, por una parte, sus similitudes con este punto de la imagen precedente y, por otra parte, sus costes geométricos, y
 - 40 - la operación de estimación está basada sobre un conjunto de L pares de puntos emparejados que reagrupa los pares de puntos emparejados así seleccionados para cada punto singular.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que el desplazamiento del objeto es modelado por una homografía y los parámetros de este modelo son estimados a partir del conjunto de los L pares de puntos emparejados seleccionados.
- 45 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en el que la estimación de los parámetros de un modelo de desplazamiento del objeto es realizada por un método RANSAC que toma como entrada bien los K o bien los L pares de puntos emparejados así seleccionados para cada punto de la imagen precedente.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la estimación de los parámetros del modelo de desplazamiento es realizada por voto mayoritario sobre una transformada de Hough que toma como entrada bien los K o bien los L pares de puntos emparejados así seleccionados para cada punto de la imagen precedente.
- 50 7. Dispositivo de seguimiento de un objeto en una secuencia de al menos dos imágenes llamadas precedente y corriente, incluyendo dicho dispositivo medios para:

- formar (1) un primer conjunto de puntos $E_p = \{P_p(1), \dots, P_p(i), \dots, P_p(N)\}$, respectivamente un segundo conjunto $E_c = \{P_c(1), \dots, P_c(j), \dots, P_c(M)\}$, por extracción de puntos característicos de este objeto en la imagen precedente, respectivamente corriente,
- calcular (2) un descriptor local ($D(P_p(i)); D(P_c(j))$) para cada uno de los puntos característicos extraídos,
- 5 - cuantificar (3) la disimilitud entre el descriptor de cada punto del primer conjunto de puntos y el descriptor de cada punto del segundo conjunto de puntos,
- formar (4) pares de puntos emparejados ($C(i,j)$) para cada punto del primer conjunto de puntos en función de las disimilitudes entre descriptores así cuantificados, asociando cada par de puntos emparejados un punto del primer conjunto de puntos con un punto del segundo conjunto de puntos,
- 10 - estimar (6) los parámetros de un modelo de desplazamiento del objeto entre las dos imágenes por voto mayoritario a partir de los pares de puntos emparejados así formados,
- seleccionar los pares de puntos emparejados utilizados para estimar los parámetros del modelo de desplazamiento, dichos medios están configurados para que dichos pares de puntos emparejados sean únicamente seleccionados entre aquellos que son relativos a puntos del primer conjunto de puntos que son singulares, siendo cada punto del primer conjunto de puntos un punto singular, caracterizado por que:
- 15 - por una parte, si la menor disimilitud entre el descriptor de este punto del primer conjunto de puntos y el descriptor de un punto del segundo conjunto de puntos es inferior a un umbral predeterminado (TH1) y,
- estando los puntos del segundo conjunto de puntos que son relativos a este punto del primer conjunto de puntos ordenados por disimilitud creciente para formar una lista (P_c^i) de puntos ordenados, si, por otra parte, existe un índice K_i de esta lista tal que la disimilitud ($DIS[D(P_p(i)), D(P_c(j))]$) sea inferior a un valor predeterminado (TH2) y que este índice K_i es tal que la desviación entre la disimilitud entre el punto ($P_p(i)$) del primer conjunto de puntos y el punto ($P_c^i(K_i)$) del segundo conjunto de puntos que es relativo a este índice K_i , y la disimilitud entre el punto del primer conjunto de puntos y el punto ($P_c(K_i+1)$) del segundo conjunto que es relativo al índice que sigue al índice K_i , es inferior a un umbral predeterminado (TH3).
- 20
- 25 8. Producto de programa de ordenador, caracterizado por que comprende instrucciones para poner en práctica, por un dispositivo conforme a la reivindicación 7, el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6 cuando dicho programa es ejecutado por un procesador del dispositivo.
- 9. Medios de almacenamiento legibles por ordenador, caracterizados por que almacenan un programa de ordenador que comprende instrucciones para poner en práctica, por un dispositivo adaptado, el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, cuando dicho programa es ejecutado por un procesador del dispositivo y conforme a la reivindicación 7.
- 30

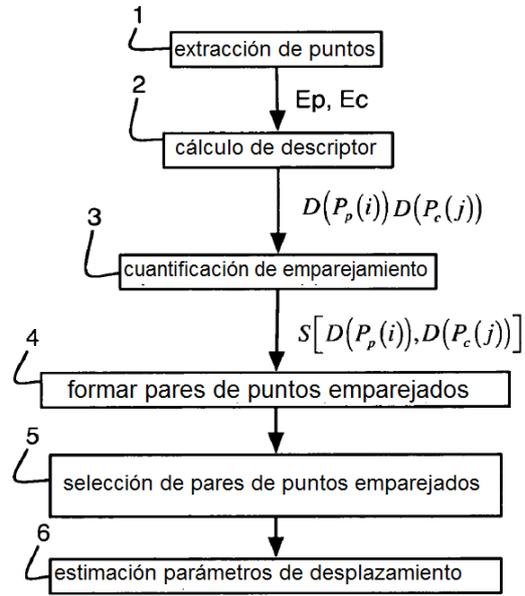


Fig. 1

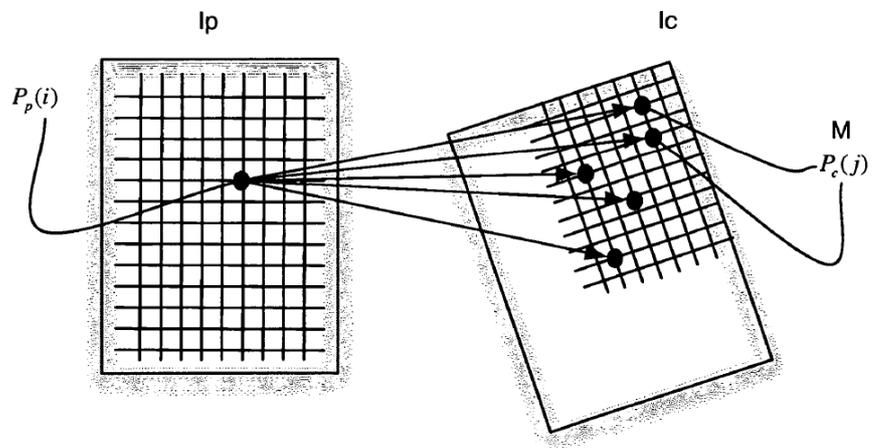


Fig. 2

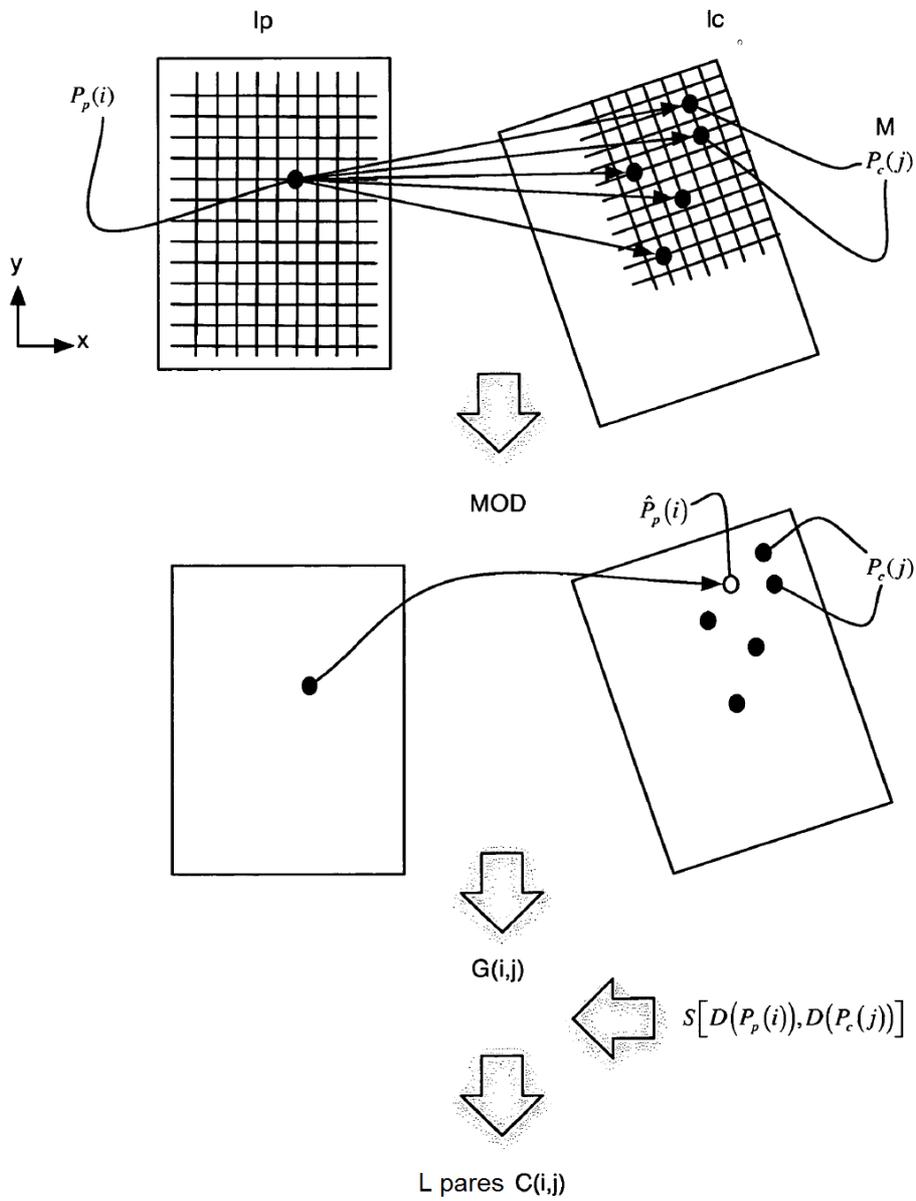


Fig. 4

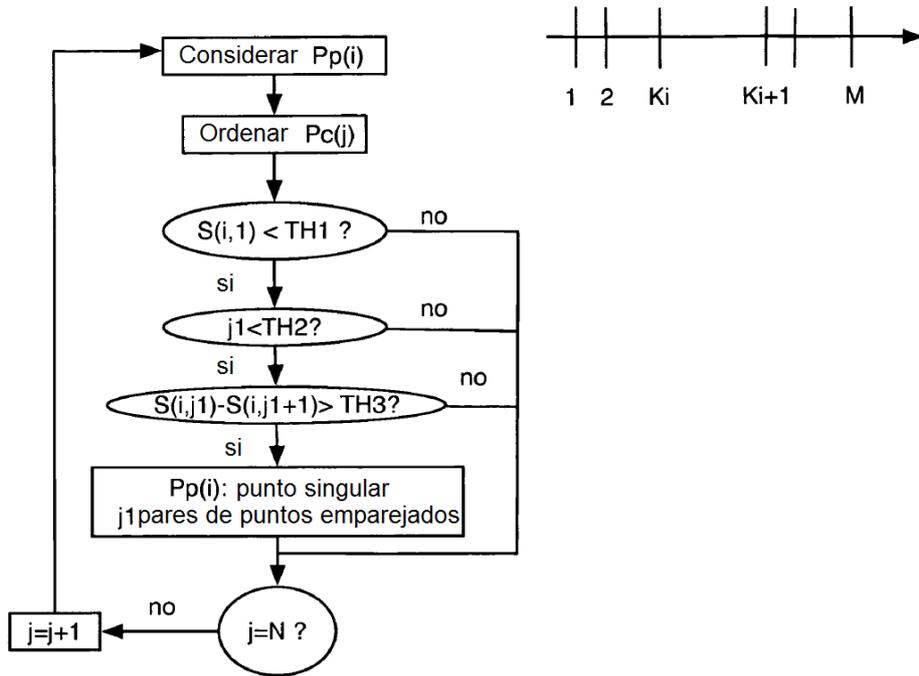


Fig. 3

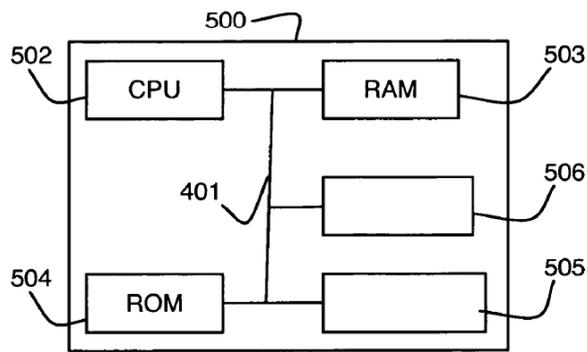


Fig. 5