

Seguimiento de Objetos Móviles usando la Distancia de Hausdorff.*

Elena Sánchez Nielsen
Departamento de Estadística, Investigación Operativa y Computación
Universidad de La Laguna. Tenerife
email: enielsen@ull.es

Mario Hernández Tejera
Departamento de Informática y Sistemas
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
email: mhernandez@dis.ulpgc.es

Resumen

Este trabajo es una contribución al problema del seguimiento de objetos según un esquema basado en modelos. El núcleo de la solución adoptada lo constituye un proceso de comparación con modelo planteado como un problema de búsqueda y efectuado a través de la utilización de una medida de comparación basada en la distancia de Hausdorff [1]. El método utilizado no precisa disponer a priori de modelo 3D del objeto a seguir, ya que se hace uso de una aproximación de seguimiento basada en el aspecto visual, es decir de vista 2D a modelo 2D, que no precisa reconstrucción. Además, no se precisa que el objeto sea rígido. Los aspectos más relevantes de la solución adoptada se pueden resumir en que: 1) Se descompone la imagen de un objeto, en general 3D, en dos partes: un movimiento 2D y un cambio de forma 2D. 2) Se refleja el cambio de forma entre imágenes sucesivas con modelos icónicos que evolucionan temporalmente. El proceso de seguimiento puede ser realizado aunque el aspecto del objeto cambie ya sea por movimiento relativo 3D entre el objeto y el punto de vista, por deformaciones debido al ruido, por no rigidez del objeto o por evolución suave respecto a la frecuencia de adquisición. Este método incluye un proceso de búsqueda para la determinación del movimiento. La solución propuesta de búsqueda informada “*primero el mejor*” permite la reducción de costos computacionales. Se incluye un conjunto de evaluaciones experimentales de la propuesta y discusiones de resultados.

1 Introducción

En un contexto de percepción visual, el seguimiento de un objeto es en esencia: un proceso en el que se efectúa la detección del objeto u objetos móviles y su “persecución” a través de secuencias de imágenes del entorno adquiridas por una o varias cámaras (estáticas o móviles) [2, 3]. Si se considera el paradigma de Visión Activa, el proceso de seguimiento se traduce en el control de la mirada del sistema visual sobre el objeto móvil, moviendo adecuadamente el sensor y efectuando fijación sobre el mismo [2, 3, 4, 5]. El proceso de seguimiento puede implicar a cualquier objeto móvil presente en la escena, sin reconocer de que objeto se trata (*seguimiento precategórico*) o el seguimiento de uno o varios objetos específicos del cual se tiene un modelo predefinido (*seguimiento categórico*).

*Este trabajo ha sido financiado parcialmente con cargo al proyecto CICYT TIC98-0322-C03-01

Tradicionalmente existen dos aproximaciones para resolver el problema del seguimiento:

- A. Las aproximaciones basadas en el análisis del contenido de los pixels. Estas técnicas determinan las zonas de la imagen donde se ha producido un movimiento mediante un análisis de la variación del contenido de los pixels. Ejemplos de estas aproximaciones son los métodos basados en el análisis de movimiento diferenciales [6] y las técnicas de flujo óptico [7].
- B. Las aproximaciones basadas en modelo. Estas técnicas implican localizar, en cada una de las imágenes que compone la secuencia, la posición del objeto móvil del que se dispone un modelo. Los modelos empleados pueden construirse explícitamente “a mano”, inducirse a partir de una secuencia de ejemplos o adquirirse dinámicamente a partir del objeto móvil. Los métodos basados en modelo incluyen: métodos correlacionales [8], métodos basados en correspondencia [9], métodos de filtrado [10], métodos basados en contornos deformables activos [11] y métodos basados en filtrado predictivo [12]. Algunas técnicas también emplean *conocimiento* acerca del dominio como herramienta complementaria a la información suministrada por los datos de la imagen. Estas técnicas emplean básicamente conocimiento geométrico del dominio [13, 14], conocimiento heurístico [15] o conocimiento contextual [16].

En este trabajo se plantea una solución basada en modelo [17] para resolver el problema del seguimiento. A continuación, se describe y evalúa con experimentos la solución propuesta.

2 Seguimiento usando la Distancia de Hausdorff

El método de seguimiento planteado está basado íntegramente en la comparación de estructuras geométricas 2D entre escenas consecutivas. Los principales componentes de esta metodología se resumen en:

- Descomposición de la imagen de un objeto móvil 3D en dos componentes: un movimiento 2D, correspondiente al desplazamiento del aspecto visible del objeto y un cambio de forma 2D correspondiente al cambio actual de la forma del objeto. Se asume que el cambio de forma es relativamente pequeño entre escenas consecutivas.
- Captura del cambio de forma 2D entre imágenes consecutivas con modelos geométricos 2D, que evolucionan en el tiempo.
- Comparación de los modelos 2D, empleando la distancia de Hausdorff con un grupo de transformaciones G , para determinar la componente del movimiento. Esta distancia mide la proximidad entre los modelos, sin determinar explícitamente una correspondencia entre ellos.

La distancia de Hausdorff es una medida de distancia definida entre dos conjuntos de puntos. Formalmente, la distancia definida entre los conjuntos A y B , donde A y B son conjuntos de puntos (p.e, puntos de la imagen, donde A representa a la imagen y B representa al modelo) se define como:

$$H(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (1)$$

donde

$$h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (2)$$

y $\|a - b\|$ es la distancia entre los puntos a y b medidos por alguna norma (L_1 , L_2 , L_∞). La función $h(A, B)$ se conoce como la *distancia directa de Hausdorff* desde A a B , y ordena cada punto de A basado en su distancia al punto más cercano de B [17]. La distancia de Hausdorff mide la diferencia entre conjuntos fijos de puntos, mientras que el problema de seguimiento pretende medir la diferencia entre *formas* de conjuntos de puntos.

Formalmente, dado dos objetos geométricos A y B , se corresponden exactamente a la misma *forma* cuando existe alguna transformación $g \in G$ tal que $g(A)=B$, donde G es el grupo de transformaciones permitidas. Dada esta definición de forma, la distancia entre las dos formas viene definida como la diferencia mínima que existe entre las dos formas considerando todas las posibles transformaciones de una forma con respecto a la otra [1].

La resolución del problema del seguimiento se basa en la **asimetría de la distancia de Hausdorff para realizar la tarea mediante los dos procesos siguientes:**

- 1. Comparar el modelo de un objeto en la escena en un instante de tiempo dado t , (M_t), con la siguiente escena en un instante de tiempo $t+1$ (I_{t+1}), para encontrar la transformación que especifica la mejor localización del modelo M_t definido en la imagen I_t , en la siguiente imagen I_{t+1} .**
- 2. Construir un nuevo modelo M_{t+1} , seleccionando el subconjunto de I_{t+1} , que esté más próximo al modelo transformado M_t localizado en la imagen I_t . Este nuevo modelo M_{t+1} , representa la forma del objeto en la escena siguiente.**

3 Búsqueda Heurística

El primer proceso del método de seguimiento, es decir: la determinación de la transformación que especifica la mejor localización del modelo M_t en la siguiente imagen I_{t+1} , puede resolverse mediante estrategias de búsqueda. En este trabajo, se propone la reducción de la complejidad y del coste computacional mediante la aplicación de una estrategia *primero el mejor (best first)*, que emplea conocimiento específico del problema en orden a minimizar el coste de la búsqueda, en lugar de aplicar un esquema de búsqueda exhaustiva no informada [1].

La resolución del problema propuesto está basado en una representación en el espacio de estados, que considera a los problemas como una colección de estados, un conjunto de operadores que transforman estos estados, un *estado inicial* que representa la situación inicial del problema y un *estado final, meta u objetivo* que corresponde a la solución del problema. La resolución del problema se basa en definir una secuencia de *operadores*, que transforman el estado inicial en estado final. Una vez definido el problema como un conjunto de estados e identificado cuál es la solución de dicho problema, la parte restante, esto es la *búsqueda de la solución* se logra mediante una búsqueda realizada a través del espacio de estados [18].

Dentro del marco contextual de representar en un espacio de estados el problema de la búsqueda de la mejor transformación que localiza el modelo M_t de la escena I_t en la siguiente escena I_{t+1} , se dispone de los siguiente elementos:

- *Estado*: a la transformación escogida del grupo de transformaciones consideradas, que se aplica a cada punto que constituye el modelo original considerado.
- *Estado Inicio*: al conjunto de transformaciones que puedan localizar el modelo en la escena actual.
- *Estado Final*: a aquel estado que identifica la mejor posición del modelo en la escena actual.
- *Operadores*: un operador es un elemento de transformación de un estado en otro. En el problema propuesto, los operadores están constituidos por:

- A. Tomar el conjunto de transformaciones (en este caso, se considera el conjunto de traslaciones 2D) del estado correspondiente y subdividirlo en cuatro regiones, es decir dos divisiones para el eje x y dos divisiones para el eje y.
- B. Para cada subdivisión obtenida en el paso A, se toma la transformación correspondiente al centro de la subdivisión y se aplica a todos los puntos del modelo.

Una definición del problema en este marco precisa de un mecanismo formal que permita decidir si un estado es mejor que otro. Este mecanismo formal es una *función heurística de evaluación*, de tal forma que dicha evaluación no está definida en si misma, sino que es el estado en que el valor de dicha función es menor que un umbral específico.

La forma de la función heurística debe reflejar el hecho intuitivo de que son preferibles aquellos estados que localicen de la mejor manera posible el modelo que se está considerando en la escena actual. En un caso límite de identificar exactamente todos los puntos del modelo en la escena actual con el objeto correspondiente, el estado óptimo, contiene dicha transformación. Si el estado óptimo no existe, el algoritmo obtiene la mejor solución no óptima.

3.1 Función de Evaluación Heurística. Caso Ideal

Esta situación equivale al caso hipotético en el que el modelo es una réplica exacta del objeto original que se quiere localizar. Esto corresponde con un caso ideal en que el modelo a localizar en la siguiente escena no se ha deformado con respecto al modelo definido en la escena anterior, así como los procesos de detección de contornos producen contornos exactos sin ruido.

Se propone como función de evaluación, una medida que refleja la proximidad que existe entre la escena actual y el modelo transformado [1, 17, 19, 20]. La medida se obtiene aplicando a cada punto del modelo actual la transformación del estado correspondiente. De esta manera, la función de evaluación se equipara a una función de distancia, donde dicha distancia es menor cuando la transformación que se considera aproxima más el modelo transformado a la escena actual. Dicha función de distancia es la distancia directa de Hausdorff (2). Así, si un estado se compone de una transformación g , la distancia directa de Hausdorff entre el modelo transformado y la escena actual se define como:

$$h(g(B), A) = \max_{b \in g(B)} \min_{a \in A} \|g(b) - a\| \quad (3)$$

donde $g(B)$ corresponde a los puntos del modelo transformado y A corresponde a los puntos de la escena actual.

3.2 Función de Evaluación Heurística. Caso no Ideal

Una situación real se caracteriza por la deformación del objeto móvil, la ausencia de primitivas del objeto debido a fallos en el proceso de su detección y la imprecisión en las posiciones de las primitivas debido a la inexactitud en los procesos de detección. La función de evaluación ha de solventar estas situaciones. De esta manera, se reemplaza el valor máximo por un cuantil, y la función de distancia entre el modelo transformado y la escena actual viene definido como:

$$h_k(g(B), A) = \max_{b \in g(B)} \min_{a \in A} \|g(b) - a\| \quad (4)$$

donde la elección del K -th valor particulariza la distancia directa de Hausdorff.

El cálculo de la distancia directa parcial de Hausdorff se realiza mediante la implementación de la *distancia transformada*, que mide la distancia existente entre cada localización de la imagen y el punto de contorno más cercano, según alguna métrica definida. Esta distancia puede obtenerse de manera eficiente usando un algoritmo de dos pasadas [21, 22, 23].

Otra función heurística consiste en avanzar por aquel estado, que verifica que la distancia del mayor número de puntos del modelo transformado (con la transformación de dicho estado) es menor que un parámetro heurístico establecido (*parámetro de distancia directa mínima*).

3.3 Estrategia de Control

La determinación de la componente del movimiento del objeto móvil se realiza mediante una estrategia *primero el mejor*. Para avanzar por el estado más idóneo, se emplea la segunda función de evaluación del apartado 3.2.

Las características principales de la estrategia empleada son:

- Debido al ámbito lineal de la matriz de distancia transformada, determinados estados pueden ser eliminados, concretamente aquellos que verifiquen:

$$h_k(g_c(B), A) > \text{parametro de distancia directa minima} + \alpha \quad (5)$$

donde g_c corresponde al centro de la región de transformaciones del estado correspondiente y α corresponde a la distancia que existe desde el centro de la región de transformaciones hasta su esquina y viene definido como:

$$\alpha = \left\| \left(\frac{g_x^{max} - g_x^{min}}{2}, \frac{g_y^{max} - g_y^{min}}{2} \right) \right\| \quad (6)$$

g_x^{max} , g_y^{max} , g_x^{min} , g_y^{min} corresponden respectivamente a las coordenadas 2D máxima y mínima en x e y del conjunto de traslaciones consideradas.

- Nunca se elimina un estado que pueda contener el estado final.
- En lugar de finalizar la búsqueda tan pronto como se obtenga un estado final, se puede obtener una solución mejor del problema propuesto, la cual consiste en la reducción del valor del parámetro heurístico *parámetro de distancia directa mínima*, redefiniendo así un nuevo estado final más óptimo y proseguir con la búsqueda. Otra opción consiste en almacenar el estado final previamente localizado, proseguir con la búsqueda y localizar todos los estados finales posibles, la mejor solución corresponde a aquel estado final que verifica que la distancia del mayor número posible de puntos del modelo transformado sobrepuesto sobre la escena actual es menor que el parámetro heurístico *parámetro de distancia directa mínima* establecido. Otra opción también factible, sería aumentar el parámetro K y proseguir con la búsqueda.
- Una vez que se ha obtenido el estado final del problema propuesto, no se dispone de ningún mecanismo que verifique si existe alguna solución aún mejor que el estado final obtenido, por tanto el principal inconveniente que presenta intentar obtener una solución mejor una vez se ha hallado el estado final, es que la búsqueda se puede convertir en exhaustiva si el estado final que se ha obtenido previamente es la mejor solución entre todas las soluciones posibles. En la práctica se obtienen buenos resultados estableciendo *parámetro de distancia directa mínima* como $\sqrt{2}$ y K como 0.8.
- Una de las particularidades con la que se enfrenta la aplicación de la estrategia de búsqueda, es el desconocimiento a priori de la existencia o no de una solución al problema propuesto de la determinación de la componente de movimiento del modelo en cada escena, con el parámetro heurístico establecido, *parámetro de distancia directa mínima*. Por ello, se incrementa en una unidad dicho parámetro hasta un valor máximo de 10, si no se obtiene ningún estado final para el valor actual del parámetro establecido.

4 Experimentos y Resultados

Este apartado, analiza dos estrategias: la estrategia no informada de Ruckelidge [1] y la estrategia propuesta primero el mejor.

4.1 Entorno Experimental

El estudio experimental ha sido realizado con varias secuencias de imágenes. La secuencia *Coches* corresponde a una maqueta a escala que simula una escena de tráfico, compuesta por dos coches móviles y dos plazolas con ligeros cambios de iluminación a lo largo de la secuencia. La secuencia *Figura* está compuesta por un muñeco articulado móvil y varios objetos estáticos como fondo de cada escena que compone la secuencia. Los resultados del proceso de seguimiento obtenidos mediante la estrategia de búsqueda propuesta, primero el mejor sobre los contornos de las imágenes obtenidas mediante un proceso de detección de contornos [24] se muestran respectivamente en *Coches* y *Figura*. Para reducir el volumen inicial de los datos a procesar, la estrategia de búsqueda se aplica a los puntos correspondientes que se obtienen al procesar la diferencia entre los puntos de la imagen original y los puntos de la imagen anterior. En el caso de un observador móvil, el volumen de datos a procesar puede reducirse mediante la computación previa entre el egomovimiento del observador y el campo velocidad de la imagen, obteniéndose la ventana de diferencias mediante la substracción de la segunda con respecto a la primera [25].

Estado Inicial

Los diferentes *estados iniciales*, constituidos por los distintos grupos de transformaciones, que se consideran para localizar el objeto móvil mediante la estrategia de búsqueda en cada imagen son:

- Un grupo de traslaciones 2D de tamaño 64x64 que abarca el rango comprendido entre (-32,-32) y (32,32).
- Un grupo de traslaciones 2D de tamaño 32x32 que abarca el rango comprendido entre (-16,-16) y (16,16).

Estado Final

En todos los experimentos realizados, se considera como *estado final*, aquel estado que contiene la traslación que verifica que la distancia entre el 80% de los puntos de contorno del modelo trasladado y los puntos de diferencia de la imagen actual es inferior o igual a $\sqrt{2}$ (*parámetro de distancia directa mínima*).

Estrategia Primero el Mejor

Para estudiar esta estrategia, se consideran cuatro casos relacionados con los factores de expansión del árbol de búsqueda. Para cada uno de los cuales se estudiarán los dos grupos de transformaciones que constituyen los dos estados iniciales definidos anteriormente:

1. Subdividir cada grupo (región) de traslaciones del estado de trabajo en 4 estados.
2. Subdividir cada grupo de traslaciones del estado de trabajo en 4, en un rango de 32 y 16 en cada dirección respectivamente a partir de la traslación (solución) obtenida en la imagen anterior.
3. Subdividir en 16 estados, cada estado de trabajo.
4. Es equivalente al segundo caso, pero se realizan 16 subdivisiones.

Se incluye el segundo y último caso, con el fin de estudiar si es preferible o no incluir como solución inicial, aquella que corresponde a la solución final obtenida en la imagen previa.

Funciones de Evaluación Heurística

Para analizar la estrategia primero el mejor, se han considerado las dos siguientes funciones de evaluación heurística:

1. Expandir aquel estado que verifica que al menos el 80% de los puntos de contorno del modelo trasladado actual sobre la matriz de distancia transformada es menor o igual al parámetro heurístico establecido *parámetro de distancia directa mínima*.
2. Expandir aquel estado que verifica que la distancia del mayor número de puntos del modelo trasladado sea menor que el parámetro heurístico *parámetro de distancia directa mínima*.

Estrategia sin Información

Para estudiar la estrategia no informada, se han considerado dos casos:

1. Subdividir cada grupo de traslaciones 2D del estado de trabajo en cuatro divisiones (regiones), es decir, dos subdivisiones por cada eje (x e y).
2. Subdividir cada grupo de traslaciones 2D del estado de trabajo en 16, es decir, 4 subdivisiones por cada eje (x e y).

En ambos casos, no se dispone de información para decidir que estado expandir primero.

Si se considera el estado inicial constituido por el tamaño 32x32 del conjunto de traslaciones 2D, no se obtiene ningún resultado para los casos 3 y 4 de la estrategia primero el mejor ni para el segundo caso de la estrategia no informada debido a que es imposible realizar 16 subdivisiones sistemáticas y obtener en la última subdivisión un estado que contenga una única traslación.

4.2 Análisis Comparativo entre Heurísticas

La representación gráfica de la *figura 1* muestra la posibilidad de avanzar sobre el nodo más idóneo, si se modela el problema propuesto de la localización del objeto móvil correspondiente al primer aspecto del seguimiento de objetos móviles mediante una representación en el espacio de estados, empleando cualquiera de las dos funciones heurísticas de evaluación propuestas. La primera gráfica muestra los valores obtenidos de la distancia directa parcial de Hausdorff entre los puntos del modelo transformado (con la traslación correspondiente) y los puntos de la escena, al considerar una región de traslaciones que abarca el rango comprendido entre (-16,-16) y (16,16) para la segunda escena de la secuencia *Coches*. La segunda gráfica de la figura muestra el número total de puntos del modelo transformado (con la traslación correspondiente), los cuales verifican que la distancia entre los puntos del modelo transformado y los puntos de la escena actual son menor que el parámetro heurístico establecido *parámetro de distancia directa mínima* considerando el mismo rango de traslaciones y la misma escena.

A partir de los resultados obtenidos no se puede determinar que función es más eficaz. Se escoge la segunda función de evaluación, ya que ésta considera todos los puntos del modelo y no una fracción de ellos.

La *figura 2* refleja el número total de traslaciones realizadas para cada una de las variantes de ambas estrategias considerando cada uno de los dos estados iniciales y empleando la segunda función de evaluación para analizar la estrategia primero el mejor al realizar el proceso de seguimiento en la secuencia *Coches*.

La *figura 3* muestra los resultados correspondientes considerando las mismas condiciones al realizar el seguimiento del objeto móvil de la secuencia *Figura*.

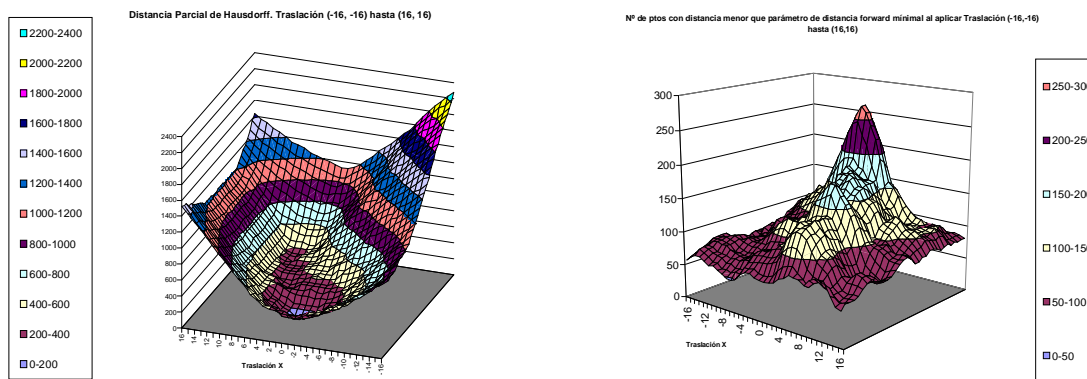


Figura 1. Comparativa entre dos funciones de evaluación heurísticas considerando la estrategia Primero el Mejor.

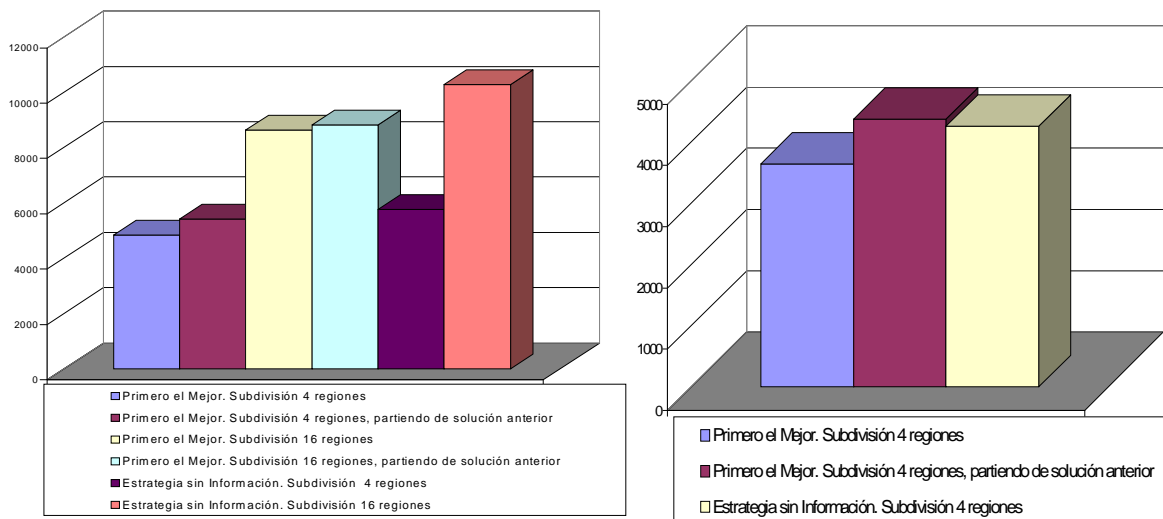


Figura 2. Número total de traslaciones 2D realizadas para el conjunto de traslaciones 64x64 y 32x32 para cada una de las variantes de ambas estrategias de la secuencia “Coches”.

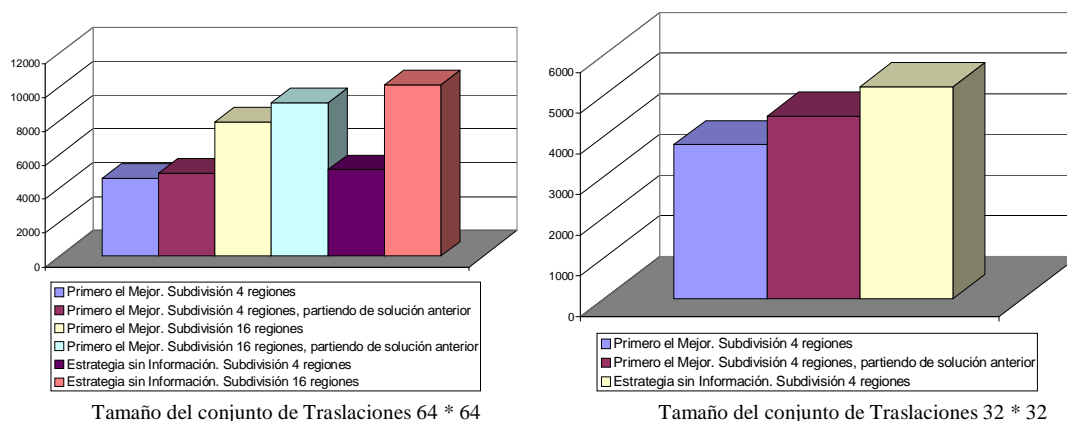


Figura 3. Número total de traslaciones 2D realizadas para el conjunto de traslaciones 64x64 y 32x32 para cada una de las variantes de ambas estrategias de la secuencia “Figura”.

4.3 Resultados

A partir del estudio experimental realizado, se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. La estrategia primero el mejor expande menos estados que la estrategia sin información para obtener el estado final. Así como es preferible subdividir cada estado de trabajo en cuatro en lugar de dieciséis sin considerar como estado inicio la solución obtenida en la escena anterior. De esta manera, con la estrategia primero el mejor se logra reducir el coste computacional frente al uso de una estrategia no informada.
2. Cuanto menor sea el tamaño del conjunto de traslaciones que se escoja como estado inicial, menor es el número de traslaciones empleadas para alcanzar el estado final y por tanto, menor es el tiempo consumido para realizar dicho proceso. Sin embargo, sólo se puede emplear un conjunto de traslaciones de tamaño reducido si el objeto se desplaza lentamente, pero en este caso todos aquellos puntos que se solapan entre escenas consecutivas no formaran parte de la ventana de diferencias. Sin embargo, el inconveniente de usar una ventana constituida por los puntos de la imagen original es la consideración de todos aquellos puntos que forman parte del fondo estático de la imagen.
3. Si el modelo se halla en las proximidades de los bordes y se está considerando un tamaño considerable de traslaciones, en algunas situaciones se puede obtener un estado final que contenga una solución errónea. Dos soluciones que pueden resolver esta situación son: i) Calcular el mejor estado de todos los posibles, con lo cuál se está realizando una búsqueda exhaustiva. ii) Reducir dinámicamente el tamaño del conjunto de traslaciones considerado.
4. La adaptación dinámica del parámetro heurístico *parámetro de distancia directa mínima* en función de los valores históricos de dicho parámetro evita realizar una búsqueda exhaustiva considerando la estrategia primero el mejor.

5 Conclusiones y Perspectivas Futuras

Este trabajo constituye una contribución al seguimiento de objetos móviles, basado en formular el proceso de seguimiento como una Búsqueda en el Espacio de Estados y proponer una solución computacionalmente menos costosa que la de búsqueda no informada, basada en la definición de un método de búsqueda primero el mejor. Para ello se propone utilizar una Función Criterio basada en la medida de Hausdorff. Dicha técnica ha sido evaluada mediante un conjunto de experimentos que incluyen el análisis de la misma comparativamente con la de [1], de lo que se desprenden las bondades de la propuesta efectuada.

El trabajo realizado no es terminal en si mismo, sino que permite plantear una serie de propuestas de trabajo futuro a abordar, como son: (1) Predecir con cierta precisión la posición del objeto móvil en la siguiente escena combinando el método de seguimiento propuesto con un filtro predictivo para precisar aún más el estado inicial de búsqueda y la extensión de la misma, (2) Investigar una solución más óptima, como sería un algoritmo de búsqueda de la familia A*[18], (3) Incluir otras vías perceptuales, como las relacionadas con el uso del color, (4) Estudiar un mecanismo que permita construir incrementalmente un modelo común, que almacene la información del objeto móvil adquirida a lo largo de las diferentes imágenes que compone la secuencia.

6 Referencias

- [1] W. J. Ruckelidge. "Efficient Computation of the minimum Hausdorff Distance for Visual Recognition", *Phd thesis*, Cornell University, 1995. *CS-TR1454*.
- [2] Aloimonos Y. (ed.), *Active Perception*. Lawrence Erlbaum Assoc., Pub., N.J., 1993.
- [3] Crowley J. L., Christensen H. I. (eds.), *Vision as Process*. Springer-Verlag, Berlin, 1995.
- [4] Aloimonos, J. Weiss, I. and Bandyopadhyay, A., "Active Vision", *International Journal of Computer Vision*, 1(4):333-356, 1987.
- [5] Bajcsy R, "Active Perception", *Proceedings of the IEEE Workshop on Computer Vision*, 76(8):996-1005, 1988.
- [6] Rober J. Schalkoff. *Digital Image Processing and Computer Vision*. pp. 213-218. Editorial John Wiley & Sons, Inc, 1989.
- [7] B.K.P. Horn. *Robot Vision*, MIT Press, Cambridge, MA, & McGraw-Hill Book Company, New York, 1986.
- [8] M. Wessler, L.A. Stein, "Robust Active Vision from Simple Symbiotic Subsystems", *Technical Report, MIT*, 1997.
- [9] P. Anandan. "A computacional framework and an algorithm for the measurement of visual motion", *International Journal of Computer Vision*, 2(3):283-310, January, 1989.
- [10] S. A. Brock-Gunn, G.R. Dowling, T. J. Ellis. "Tracking using colour information", *Tech. Rep. TCU/CS/1994/7*, City Univ. London, 1994.
- [11] M. Kass, A. Witkin and Terzopoulos. "Snakes: Active contour models", *International Journal of Computer Vision*, 1(4):133-144, 1987.
- [12] Sylvia Gil, Ruggero Milanese, Thierry Pun. "Feature selection for object tracking in traffic scenes", *In SPIE International Symposium on Smart Highways*, Boston, Massachusetts, Oct. 31- Nov. 4, 1994.
- [13] A.D. Worrall, R.F. Sullivan, and K.D. Baker. "Model-based tracking", *In Proc British Mach. Vis. Conf.*, pages 310-318, Glasgow, UK, September 1991.
- [14] D. Koller, K. Daniilidis, and H. Nagel. "Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes", *Int. J. Of Computer Vision*, 10(3):257-281, 1993.
- [15] A. L. Yuille, D.S. Cohen, and P.W. Hallinan. "Feature extraction from faces using deformable templates", *In Proc. Comp. Vis. and Pattern Recognition*, pages 104-109, June 1989.
- [16] P.N. Prokopowicz, M.J. Swain, and R.E. Kahn. "Task and enviroment-sensitive tracking", *In Proc. Work. Visual Behaviors*, pages 73-78, Seattle, June 1994.
- [17] D. P. Hunttenlocher, J.J. Noh, W. J. Rucklidge. "Tracking non-rigid objects in complex scenes", *In Proc. Fourth International Conference on Computer Vision*, pp. 93-101, Berlin, Germany May 1993.
- [18] Leonard Bolc, Jerzy Cytowski. *Search Methods for Artificial Intelligence*. Ed. Academic Press, 1992
- [19] D. P. Hunttenlocher, G. A. Klanderma, W. J. Ruckelidge. "Comparing images using the Hausdorff distance", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(9):850-863, September 1993.
- [20] D.P. Huttenlocher and W. J. Ruckelidge. "A multi-resolution technique for comparing images using the Hausdorff distance", *In Proc. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 705-706, New York, 1993.
- [21] A. Rosenfeld and J. L. Pfaltz. "Sequential operations in digital picture processing", *J. Assoc. Comput Mach.* 13, 1966, 471 – 494.
- [22] D. W. Paglieroni. "Distance Transforms", *Computer Vision, Graphics and Image Processing: Graphical Models and Image Processing*, 54:56 – 74, 1992.
- [23] G. Borgefors. "Distance transformations in arbitrary dimensions", *Computer Vision Graphics Image Process.* 27, 1984, 321 – 345.
- [24] Schalkoff R.J, *Digital Image Processing and Computer Vision*. John Wiley & Sons. (178-179), 1989.
- [25] Peter. Nordlund. "Localization of a Moving Object by a Moving Observer", *Computational Vision and Active Percption Laboratory (CVAP)*. Dept. of Numerical Analysis and Computing Science, Royal Institute of Technology, June 24, 1994.