

CONTORNOS ACTIVOS

Elizabeth González García

Universidad de Matanzas

eliza@umcc.cu

Introducción

Encontrar y seguir objetos es un problema esencial de la visión por computadora. El objetivo es controlar o seguir el movimiento de un objeto o mecanismo. Controlar el movimiento requiere de la continua determinación de la pose (posición y orientación) del objeto en cada imagen de una secuencia de imágenes. Comúnmente la pose de un objeto es determinada por las características de este en la imagen tales como los puntos, líneas y el contorno que lo conforma.

Muchos han sido los métodos propuestos con el objetivo de seguir visualmente objetos en movimiento, los cuales se pudieran agruparse en la siguientes categorías:

1. Métodos basados en 3-D. Estos consisten de representaciones geométricas muy precisas de objetos conocidos. Usando información acerca de la geometría de la cámara y la escena, un modelo tridimensional es proyectado dentro de la imagen. Este tipo de método tiene un elevado costo computacional y necesita de un equipamiento muy costoso [1-4].
2. Métodos basados en la detección de características. Siguen elementos individuales tales como puntos[5,6], líneas [7,8] o curvas [9], usualmente basados en esquemas de matching. Estos métodos poseen dos grandes desventajas [10,11]: no dan un agrupamiento lógico de los elementos que se mueven y son altamente sensibles a la oclusión.
3. Métodos basados en el seguimiento de regiones. Consiste en detectar un grupo de pixels conectados que conforman un objeto simple que se esta moviendo de manera diferente a los objetos que se encuentran en su vecindad [15-17] Este tipo de algoritmos es poco sensible a la oclusión dada la extensa información que llevan consigo las regiones.

Características tales como el tamaño, el tipo o la intensidad pueden ser directamente obtenidas de estas. Este tipo de método es muy factible para cuando las escenas tienen un fondo estacionario ya que cuando este es variable necesita de algoritmos eficientes para separar el fondo de las regiones .

4. Métodos basados en modelos deformables [12-14]. Se basan en el seguimientos de contornos de objetos en movimiento en una escena. De esta forma los objetos modelados son seguidos de un frame a otro. Estos son aconsejables para escenas complejas pero tienen problemas a la hora de inicialización [6,10].

Los modelos deformables tienen un papel fundamental dentro del paradigma que surge alrededor de los años 80: la "visión activa". Hasta ese momento el problema de agrupar líneas e identificar objetos de una imagen estaba basado en la aplicación de operadores o máscaras los cuales producen una señal de salida donde determinadas características de la imagen son resaltadas. El resultado es una nueva imagen o "mapa característico".

Los mapas característicos son solo el comienzo. Ellos mejoran características de la imagen pero no la ambigüedad a la hora de detectarlas. La detección requiere de decisiones a tomar en cada píxel analizado, la más simple regla de decisión que se pueda tomar es la marcar ese píxel si él excede un umbral prefijado.

El proceso de detección de características a bajo nivel solo es efectivo en un punto y no surte efecto a la hora de identificar estructuras geométricas.

Una solución efectiva a este problema es la de diseñar procesos en una enfocados a tareas específicas consistiendo esta idea en la filosofía de trabajo de los métodos basados en visión activa o visión orientada a tareas. Si consideramos como tarea la de examinar el campo de vista inmediato al frente de un vehículo sin conductor con el fin de conducir el automóvil a través de una carretera y la naturaleza de la tarea es la de que el auto no se salga de la vía, entonces no sería necesario analizar toda la escena; solo con enfocar el estudio hacia la apariencia y posición del borde de la carretera en cada instante de tiempo. Desviaciones entre la posición actual y la esperada pueden ser tratadas como una señal de error para

el módulo de control del auto. Este enfoque trae consigo dos grandes ventajas. Primero, no es necesario agrupar características en la imagen, el área relevante de la imagen simplemente es comparada con la apariencia deseada. Segundo, el hecho de que el análisis sea restringido a una “región de interés” disminuye el costo computacional del sistema. La visión activa entonces usa tareas relativas al conocimiento a prior para simplificar y enfocar el procesamiento que es aplicado a cada imagen.

La visión activa tiene como conocimiento a prior el conocimiento geométrico de los tipos o objetos que consiste en la interpretación visual de tipos estableciendo la influencia a priori de tipos esperados. Las influencias se encuentran M. Fass, A. Witkin and D. Terzopoulos en “Snakes” el cual representa fundamentalmente un aporte al desarrollo de técnicas para el análisis visual de tipos. Estas técnicas las podemos agrupar en lo que se han venido a denominar con el término genérico de contornos activos. Estos contornos modelan las fronteras entre un objeto, el fondo y el resto de objetos de la imagen.

Permiten extraer los contornos de los objetos de interés basándonos en modelos que utilizan información a priori de la forma de los objetos. Estas técnicas son mucho más robustas frente a la presencia de ruido y otros elementos espúreos y permiten segmentar imágenes mucho más complejas que las imágenes para las que eran aplicables los métodos de segmentación de bajo nivel, como son las imágenes médicas, por ejemplo. La solución proporcionada por estas técnicas en general no requieren procesamiento posterior y son directamente interpretables, puesto que se basan en un modelo establecido a prior. Si este modelo es el adecuado, la presencia de falsos positivos o negativos será muy pequeña.

Los contornos activos se puede clasificar en *snakes* (serpientes), *patrones o plantillas deformables* y *contornos dinámicos*. Los *snakes* son mecanismos para dar cierto grado de conocimiento a prior a la interpretación de la imagen a bajo nivel. En lugar de esperar que propiedades deseables de los contornos como son continuidad y suavidad provengan de los datos de imagen, estas propiedades son impuestas desde el principio. Se impone un modelo elástico de curva continua y flexible, que posteriormente se ajustaría a los datos de la imagen. Variando

los parámetros de elasticidad de la curva se puede controlar la cantidad de información a prior que se asume. El modelado a prior se puede hacer más específico construyendo un conjunto de curvas flexibles que formarán el contorno global, con un conjunto de parámetros que controlen las variables cinéticas de la curva, como por ejemplo, los tamaños de las diferentes partes y los ángulos con las que se unen. Un modelo como este recibe el nombre de *plantilla deformable* y es un mecanismo muy potente para buscar estructuras conocidas en una imagen.

En caso de que sea necesario localizar objetos en movimiento, las cosas se complican aún más dando lugar al problema del seguimiento de objetos. Esto se denomina modelado dinámico, para el que es necesario añadir inercia, fuerzas de restauración y factor de amortiguamiento al *snake* estático. Cuando las curvas sean de seguimiento y utilicen información dinámica a prior reciben el nombre de contornos dinámicos.

Snakes

Idea del Método

El problema que se intenta resolver consiste en la localización de bordes, líneas y contornos subjetivos, así como el seguimiento de dichos contornos durante el movimiento. Es un método variacional que busca contornos en la imagen, cuya filosofía se puede considerar novedosa con respecto a los métodos clásicos de detección de bordes y enlazado posterior. En este modelo tanto la conectividad de los contornos, como la presencia de bordes en la imagen van a afectar al funcional de energía y, por lo tanto, a los detalles de la estructura del contorno localmente óptimo. Además, pueden interactuar mecanismos de alto nivel introducidos por el usuario con el modelo de contorno para llevarlo hacia el mínimo local apropiado.

A diferencia de otras técnicas que buscan contornos prominentes de la imagen, este modelo de contorno es activo. Siempre está minimizando su funcional energético y por lo tanto va a tener un comportamiento dinámico. Debido a

cómo se desliza el contorno mientras que minimiza su energía, se denomina *snake*. Cambios en la interpretación a alto nivel se van a modelar como fuerzas externas en el snake según continua el proceso de minimización. Un snake no está pensado, en principio, para resolver el problema de búsqueda automática de contornos prominentes de la imagen, sino para refinar la solución propuesta por otra serie de mecanismos. Es decir, si se parte de un contorno relativamente cercano a la solución (por ejemplo un contorno esbozado manualmente u obtenido mediante un método clásico), el contorno evoluciona hasta el mínimo local más cercano, es decir, al contorno buscado. Los *snakes* se pueden considerar un ejemplo de un caso más general de ajuste de modelos deformables a la imagen mediante un proceso de minimización energética.

Un *snake* se puede definir como una curva spline minimizadora de energía, guiada por fuerzas restrictivas externas e influenciada por fuerzas de la imagen, que tiende a localizarse en características de esta como líneas y bordes. Es, por tanto, un contorno activo que evoluciona de forma dinámica hacia los contornos relevantes de la imagen. El *snake* también posee una serie de fuerzas internas. En la terminología de contornos activos se habla de fuerza y energía de forma indistinta. Esto es una práctica bastante habitual, aunque sea físicamente incorrecto. En general, la fuerza viene dada por el gradiente de la energía. que sirven para imponer restricciones de suavidad, es decir, para regularizar la solución. Las fuerzas de la imagen empujan al snake hacia características de la imagen como líneas, bordes y contornos subjetivos, mientras que las fuerzas restrictivas externas añaden información de alto nivel para hacer que el snake se vaya hacia el mínimo local deseado.

Un contorno activo puede ser definido como colección ordenada de n puntos

$$V = \{v_1, \dots, v_n\}$$

$$v_i = (x_i, y_i), i = \{1, \dots, n\}$$

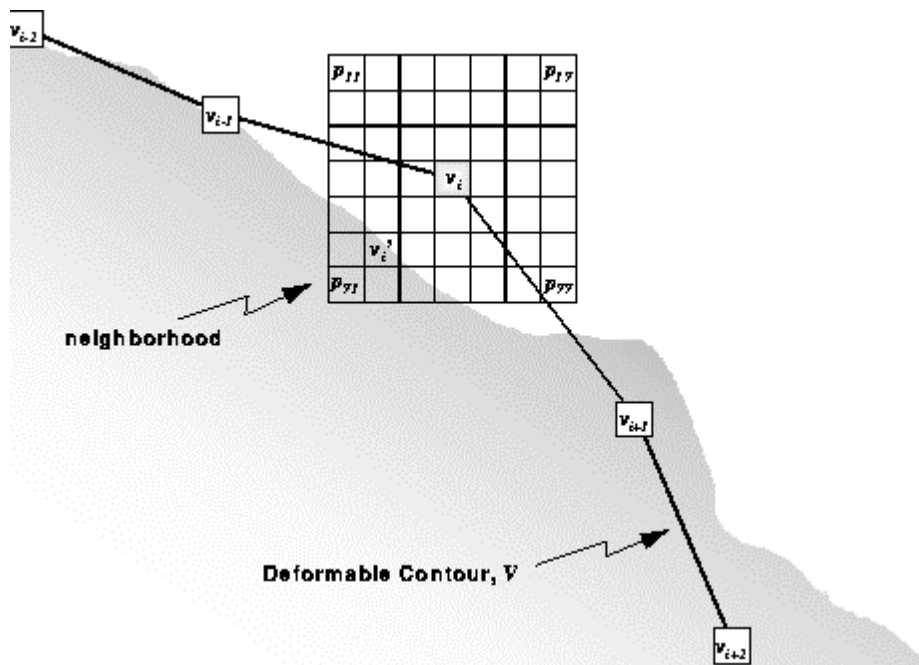
Los puntos del contorno activo iterativamente se aproximan al contorno del objeto a resolviendo el problema de minimización de energía. Para cada punto de la vecindad de v_i , un término de energía es calculado:

$$E_i = \alpha E_{int}(v_i) + \beta E_{ext}(v_i)$$

donde $E_{int}(v_i)$ es una función de energía dependiente del tipo de contorno y $E_{ext}(v_i)$ es una función de energía dependiente de las propiedades de la imagen (gradiente de la imagen) cercanas a v_i , α y β son constantes relativas a los pesos de los términos de energía.

E_i , E_{int} , E_{ext} son matrices. El valor central de cada matriz corresponde a la energía del contorno en el punto v_i . Los otros valores del centro de cada matriz corresponden (espacialmente) a la energía de cada punto en la vecindad de v_i .

En cada punto, v_i , es movido al punto, v_i' , correspondiente a la localización del mínimo valor en E_i (ver Fig.) usando el descenso del gradiente.



Si representamos al snake como una curva paramétrica mediante $r(s) = (x(s), y(s))$ con $s \in (0, 1)$ su función de energía interna se puede poner como

$$E_{\text{int}}(r(s)) = \frac{\partial}{\partial s}(w_1 r) - \frac{\partial^2}{\partial s^2}(w_2 r)$$

donde $w_1, w_2 > 0$ controlan la elasticidad y la rigidez (rectitud) de la curva y pueden variar con s .

El término de primer orden hace que el snake se comporte como una membrana, mientras que el de segundo orden hace que se comporte como una lámina plana delgada.

En otras palabras, primera derivada pequeña significa que el contorno evoluciona lentamente según varía el parámetro s , mientras que segunda derivada pequeña significa que el contorno se aproxima a una línea recta. Ajustando los parámetros se puede controlar la importancia relativa de estos dos términos a lo largo del contorno. Por ejemplo, fijando w_2 igual a cero para un cierto valor de s , se estaría permitiendo que el contorno tenga una discontinuidad de primer orden y, por lo tanto, pueda presentar un vértice.

Estos dos términos se pueden considerar como regularizadores del snake.

La E_{ext} puede ser considerada como :

$$E_{\text{ext}} = E_{\text{res}} + E_{\text{img}}$$

donde E_{res} representa las fuerzas restrictivas externas y E_{img} representa las fuerzas de la imagen.

Las fuerzas restrictivas externas, que típicamente han sido introducidas directamente por el usuario o mediante otro procedimiento de alto nivel, son dos: las llamadas tipo muelle y las tipo volcán. Tenemos entonces

$$E_{\text{res}} = E_{\text{mue}} + E_{\text{vol}}$$

donde E_{mue} es del primer tipo y E_{vol} del segundo. La fuerza tipo muelle es equivalente a conectar un muelle desde un punto cualquiera del snake hasta cualquier punto de la imagen u otro punto del snake. Está controlada por el parámetro de restauración del muelle. Si los extremos del muelle son p_1 y p_2

la fuerza viene dada por

$$E_{\text{mue}} = -k(p_1 - p_2)^2$$

El término tipo volcán crea una fuerza de repulsión del tipo $1/r^2$ que está truncada cerca de $r = 0$ (de ahí el nombre de volcán), siendo r la distancia hasta el centro del volcán. Este volcán se puede situar en cualquier punto de la imagen y repelerá al snake de su centro.

Para que los snakes sean útiles es necesario definir funcionales energéticos que atraigan el snake hacia las características relevantes de la imagen, a saber, líneas y bordes. La energía de la imagen se puede expresar como una combinación ponderada de estos tres términos:

$$E_{img} = w_{lin} E_{lin} + w_{bor} E_{bor}$$

siendo w_{lin} y w_{bor} los pesos correspondientes a la energía de línea w_{lin} , de borde w_{bor} respectivamente. Según cómo se ajusten estos términos, se puede modificar fácilmente el comportamiento del snake con respecto a la imagen.

El funcional energético de imagen más sencillo es la intensidad de la imagen por sí misma. Corresponderá a la energía de línea (en el caso en que la imagen tenga líneas se verá atraído a ellas).

$$E_{lin} r((s)) = I(x(s), y(s))$$

entonces, dependiendo del signo de w_{lin} , el snake se verá atraído hacia las líneas claras u oscuras. El snake sujeto al resto de restricciones se verá atraído a los contornos cercanos a regiones claras u oscuras de la imagen.

Encontrar los bordes de la imagen se puede hacer con un funcional también bastante sencillo. En particular el módulo al cuadrado del gradiente con signo negativo.

$$E_{bor} = -\|\nabla I(x(s), y(s))\|^2$$

Así el snake se verá atraído a las zonas con valor elevado del gradiente. Se puede evitar que el snake se quede atrapado en mínimos locales dados por estructuras pequeñas (escala pequeña), como por ejemplo el ruido. Para ello, elegida una escala σ , se desenfocará la imagen para eliminar las estructuras a menor escala antes de determinar el gradiente de la imagen. El funcional energético utilizando esta filosofía sería entonces

$$E_{bor}(r(s)) = -\left|(\nabla^2 h_\sigma(x(s), y(s))) * I(x(s), y(s))\right|^2$$

donde h_σ es una función gaussiana de desviación estándar σ . Los mínimos locales de E_{bor} corresponden con los cruces por cero de $(\nabla^2 h_\sigma) * I$. Añadiendo este término y dada una escala σ , el snake se verá atraído a los cruces por cero, pero sujeto al resto de restricciones. Si la escala es muy grande, el snake se verá atraído a los bordes de una forma muy aproximada, pero lo podría hacer desde posiciones bastante alejadas. A escalas pequeñas el snake se verá atraído a las microestructuras o ruido más cercanos, pero no podría alcanzar los bordes reales de las regiones a escalas mayores. Por esto, normalmente se comienza a escalas grandes para obtener una primera solución aproximada y después se disminuye la escala para refinar la solución.

Plantillas deformables (Templates)

El conocimiento a prior de un *snake* es muy pobre y la formas favorecidas son muy elementales (líneas y puntos).

Modelos de clases mas especificas son necesarios. Estos se pueden lograr definiendo un modelo paramétrico de los tipos $r(s; X)$ con ciertos grados de libertad y los cuales son conocidos como plantillas deformables.

Las plantillas deformables consisten de 3 elementos básicos:

1- Un modelo geométrico parametrizado para las características incluyendo probabilidades previas para los parámetros. Esto corresponde a una medida geométrica adecuada.

2- Un modelo de representación para determinar cómo una plantilla deformable de geometría específica dará origen a intensidades específicas en la imagen. Esto puede ser expresado como una medida de representación adecuada.

3- Un algoritmo que utiliza las medidas geométricas y de representación adecuadas para equiparar la plantilla con la imagen.

Esta plantilla es ajustada a una imagen de manera similar a un snake buscando el parámetro del vector X que minimice la energía $E_{ext}(X)$. La energía interna $E_{int}(X)$ puede ser incluida para favorecer ciertos tipos.

La metodología para configurar linealmente una plantilla deformable es obtener el espacio de tipos. La restricción a una parametrización lineal ofrece ventajas a la hora de simplificar los algoritmos de ajuste y evita problemas a la hora de buscar el mínimo local.

Los contornos dinámicos

Los contornos activos pueden ser aplicados estáticamente a imágenes simples o dinámicamente a secuencias temporales de imágenes. En aplicaciones dinámicas una capa adicional de modelación es requerida para contemplar a priori los movimientos del objeto y sus deformaciones.

La ecuación de movimiento es una extensión de los snakes en la que aparecen términos para tener en cuenta la inercia y la viscosidad:

$$\rho r_{tt} = - \left(\gamma r_t - \frac{\partial}{\partial s} (w_1 r) - \frac{\partial^2}{\partial s^2} (w_2 r) \right) + E_{ext} r(s, t) \quad (1)$$

ρ es la densidad de masa y γ es la resistencia viscosa del medio y la E_{ext} se puede calcular como se explicó anteriormente.

La ecuación (1) no es más que la ecuación de movimiento de Newton del contorno bajo el esquema de Euler-Lagrange [18, 19].

La base de los contornos dinámicos son las plantillas deformables. Este define formas parametrizadas $r(s, X(t))$ y a partir de ahí especificar ecuaciones dinámicas para los parámetros de forma $X(t)$.

El contorno dinámico se convierte en un proceso de dos fases en el cual el modelo dinámico es usado para predecir y extrapolar el movimiento de un tiempo discreto

al próximo. La posición predicha en cada paso es refinada usando las características de la imagen. El método de kalman es un muy usado para llevar a cabo estas operaciones.

Representación de los contornos

Splines

Una forma de representación de los contornos muy utilizadas son los B-Splines, los cuales fueron introducidos hace bastantes años como un método rápido y eficiente de interpolación.

Un spline de orden d es una función polinómica a trozos, que está formada por segmentos polinómicos de orden d a los que se denomina tramos o spans, unidos por puntos de quiebre o breakpoints. Esta forma de representación resulta atractivo debido a que son capaces de representar eficientemente los contornos de una curva en una imagen.

B-spline

Un B-Spline es es una función polinomial a trozos de grado $k-1$, definida por una secuencia de N puntos de control llamados "nodos" con los cuales los valores de la función son controlados y en donde k es el orden de la más alta derivada [5].

A la secuencia de valores de los N nodos se les llama vector nodal, tales vectores determinan las transiciones entre los polinomios a trozos.

La utilización de este tipo de splines se ha utilizado en diferentes contextos, como son recuperación de funciones de energía para estructuras moleculares [5], evitar colisiones entre robots [14] y en una extensa variedad de aplicaciones. (tiarp98)

La construcción de un spline esta dada por :

$$x(s) = \sum_{n=0}^{N_B-1} x_n B_n(s)$$

$x(s)$: función spline

$B_n(s)$: funciones básicas

x_n : pesos

B-Spline paramétrico

Un spline paramétrico se define como $r(s) = (x(s), y(s))$

$$x(s) = \sum_{n=0}^{N_B-1} x_n q_n(s)$$

$q_n = (q_n^x, q_n^y)^T$: puntos de control

$N_B = L$: número de puntos de control de la curva

Vector de Control

Se define el vector Q formado por los puntos de control

$$Q = (Q^x, Q^y)^T$$

$$r(s) = B(s)^T Q^x$$

$$r(s) = U(s)Q \quad U(s) = \begin{pmatrix} B_{(s)}^T & 0 \\ 0 & B_{(s)}^T \end{pmatrix}$$

El vector de control esta formado por los puntos de control que son los extremos de una línea o los diversos puntos en los que un trazado complejo cambia de forma.

Áreas y momentos

El área, el centroide y momentos de orden mas altos son usados para calcular la posición y orientación aproximada de una curva.

Generalmente los roles tienen dos roles:

- Inicialización en la cual una plantilla de tipo spline es posicionada lo suficientemente cerca del objeto de interés. En este punto los momentos también son usados para discriminar otros objetos y confirmar la identidad del objeto de interés.
- Interpretación de la posición y orientación del objeto a seguir su movimiento.

En el movimiento en cuestión de una mano los parámetros a considerar son el área, el centroide y la inercia.

Area (momento de orden 1)

$$A(Q) = Q^T M Q$$

$$M \equiv \begin{pmatrix} B' & 0 \\ 0 & -B' \end{pmatrix} \quad B' = \int_0^L B(s) B'^T(s) ds$$

Centroide (momento de orden 0)

$$\bar{r} = \frac{1}{A(Q)} \int_0^L |r(s) r'(s)| r(s) ds$$

Inercia (Momento de segundo orden)

$$I = \frac{1}{A(Q)} \int_0^L |r(s)r'(s)|r(s)r(s)^T ds$$

El uso de momentos en la inicialización de un espacio de tipos permite calcular

1. El desplazamiento dado que el centroide \bar{r} da la componente de traslación de X
2. El tamaño dado por $\sqrt{A/A_0}$
3. La rotación es el ángulo θ es el vector de valores propios de I (inercia) rotado.

Espacio de Tipos

El espacio de splines S_Q , de dimensión $N_Q = 2 \times N_B$, definido por los vectores de configuración Q da lugar a muchos contornos que no son de interés.

Por eso es necesario definir un espacio de tipos que sea un subespacio de S_Q que restrinja el espacio de trabajo a tipos deseados. Este espacio representa el conjunto de deformaciones admitidas a partir de una forma base y será parametrizado por un vector X con dimensión $N_X \ll N_Q$

El requerimiento de que un espacio de tipos sea lineal es para simplicidad computacional.

Definición de un espacio de tipos

$$Q = WX + Q_0$$

X : vector del espacio de tipos

W : Matriz de tipos

Q_0 : Plantilla contra la cual las variaciones del tipo son medidas

Representación de las transformaciones en un espacio de tipos

Movimiento rígido

Un ejemplo de espacio de tipos es el espacio de las semejanzas euclidianas de una plantilla curva $r_0(s) = B^t(s)Q_0$. Este es un espacio de dimensión 4, o sea que posee 4 grados de libertad: traslado horizontal, traslado vertical, rotación y escalado isotrópico (homotecia)

El otro espacio es el de transformaciones afín el cual posee 6 grados de libertad, tres para rotación y tres para traslación.

$$W = \begin{pmatrix} 1 & 0 & Q_0^x & -Q_0^y \\ 0 & 1 & Q_0^y & Q_0^x \end{pmatrix}$$

Las primeras dos columnas gobiernan las traslaciones horizontales y verticales respectivamente.

La tercera y la cuarta columna contienen las componentes del vector spline Q_0 que cubren la rotación y la traslación.

References

- [1] T. Frank, M. Haag, H. Kollnig, H.-H. Nagel, Tracking of occluded vehicles in traffic scenes, in: J.-O. Eklundh (Ed.), Seventh European Conference on Computer Vision, Springer, Cambridge, 1996, pp. 485-494.
- [2] W. Gardner, D. Lawton, Interactive model-based vehicle tracking, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 11 (1996) 1115-1121.
- [3] D. Koller, K. Daniilidis, H. Nagel, Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes, Int. J. Comput. Vision 10 (1993) 257-281.
- [4] A. Worrall, R. Marslin, G. Sullivan, K. Baker, Model-based tracking, Proceedings of the British Machine Vision Conference, BMVA Press, Glasgow, 1991, pp. 310-318.
- [5] Q. Zheng, R. Chellappa, Automatic feature point extraction and tracking in image sequences for arbitrary camera motion, Int. J. Comput. Vision 15 (1995) 31-76.
- [6] D. Beymer, P. McLauchlan, B. Coifman, J. Malik, A realtime computer vision system for measuring traffic parameters, Comput. Vision Pattern Recognition, 1997, pp. 495-501.
- [7] R. Deriche, O. Faugeras, Tracking line segments, Image Vision Comput. 8 (4) (1990) 261-270.
- [8] Y. Liu, T.S. Huang, Determining straight line correspondences from intensity images, Pattern Recognition 24 (6) (1991) 489-504.
- [9] Z. Zhang, O.D. Faugeras, Three-dimensional motion computation and object segmentation in a long sequence of stereo frames, Int. J. Comput. Vision 7 (3) (1992) 211-241.
- [10] A. Mitiche, P. Bouthemy, Computation and analysis of image motion: a synopsis of current problems and methods, Int. J. Comput. Vision 19 (1) (1996) 29-55.
- [11] A.M. Tekalp, Digital Video Processing, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995.
- [12] A. Blake, R. Curwen, A. Zisserman, A framework for spatio-temporal control in the tracking of visual contours, Int. J. Comput. Vision 11 (2) (1993) 127-145.
- [13] K. Stark, T. Ihle, Visual tracking of solid objects based on an active contour model, Proceedings of the British Machine Vision Conference, BMVA Press, 1997, pp. 640-649.

- [14] N. Ferrier, S. Rowe, A. Blake, Real-time traffic monitoring, Proceedings Second IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 1994, pp. 81-87.
- [15] S. Gil, R. Milanese, T. Pun, Feature selection for object tracking in traffic scenes, International Symposium on Smart Highways, SPIE, Boston, MA, 1994.
- [16] D. Kottke, Y. Sun, Motion estimation via cluster matching, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 16 (1994) 1128-1132.
- [17] L. Wixson, Illumination assessment for vision-based traffic monitoring, 13th International Conference on Pattern recognition, IEEE Computer Society, Viena, 1996, pp. 56-62.
- [18] L. D. Landau, E. M. Lifshitz, "Curso de Física Teórica: Mecánica", Edit. Reverte, España, 1970.
- [19] H. Goldstein, " Classical Mechanics", AddisonWesley, U.S.A., 1957.
- [20] A. Marín, H. V. Ríos, "Análisis Comparativo e Implementación de Contornos Activos", [http:// www.uv.mx/mia/Profesores/hrrios/tiarp98.ps.gz](http://www.uv.mx/mia/Profesores/hrrios/tiarp98.ps.gz).
- [21] M. Marín, "Contornos Activos", 2002, <http://poseidon.tel.uva.es/~carlos/ltif10001/contactivos.pdf>.
- [22] L.Vazquez, "Contornos Activos Blake-Isard", <http://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/gti/seminaar/doc/acticont.ps.gz>.
- [23] J. Badenas, J. M. Sanchiz, F. Pla, " Motion-based segmentation and region tracking in image sequences", Pattern Recognition 34 (2001) 661-670
- [24] A. Blake and M. Isard, "Active Contours", Springer.1998