Visión Estereoscópica basada en Regiones mediante una técnica de Minimización

A. López, F. Pla
Universitat Jaume I
Dept. Informática - Campus Riu Sec
12071 Castelló

Resumen

En este artículo presentamos un método basado en regiones para visión estereoscópica. Este método calcula la profundidad directamente, sin el cálculo intermedio de las disparidades, mediante la minimización de una función de energía basada en correlación. Para resolver el problema planteado, se asume cierta restricción sobre la distribución de la profundidad en las regiones, de modo que se obtenga una solución continua en el interior de las regiones mientras que se permite la aparición de discontinuidades de profundidad en sus contornos. Correspondencia y reconstrucción se realizan en un solo proceso iterativo que se aplica a diferentes escalas de las imágenes, a fin de obtener el mínimo global de la función de energía.

1 Introducción

La visión estereoscópica es el conjunto de técnicas que intentan recuperar información tridimensional a partir de dos o más vistas de una escena. En este proceso se pueden distinguir los siguientes pasos: *Calibración* de los parámetros intrínsecos y extrínsecos involucrados en la geometría estereoscópica; *Rectificación* de la geometría epipolar, para simplificar tanto como sea posible la búsqueda que se realiza para resolver el problema de la correspondencia; *Correspondencia* entre puntos de ambas imágenes, que proporciona un mapa de disparidades, preferiblemente un mapa denso; y *Reconstrucción* de la escena 3D, es decir, el cálculo de las profundidades a partir de las disparidades.

Estos pasos a menudo se mezclan o se omiten, como es el caso de los sistemas no calibrados que no necesitan algunos o todos los parámetros de la calibración [8] o algunos métodos de correspondencia que realizan la correspondencia sin rectificación de las imágenes, como es el caso del método de minimización y regularización [14], que además calcula la profundidad directamente, es decir, sin el cálculo intermedio de las disparidades.

En muchos métodos de visión estereoscópica las discontinuidades en las profundidades eran tratadas durante la reconstrucción, pero en los últimos años hay más trabajos que las tratan durante la correspondencia, como es el caso de las técnicas basadas en correlación que utilizan ventanas adaptativas [10], programación dinámica [9, 7, 12] y los métodos bayesianos [2].

Aquí presentamos un método inspirado en la técnica que propusieron Robert y Deriche [14], que calcula directamente la profundidad y tiene en cuenta las discontinuidades en la profundidad. Esta técnica, que se basa en técnicas de restauración de imágenes [4], realiza los pasos de rectificación, correspondencia y reconstrucción en un solo proceso. La profundidad se calcula minimizando una función de energía que consiste en el error de similitud entre puntos correspondientes en ambas imágenes, basándose en características de los pixeles.

Sin embargo, en escenas donde las superficies contienen niveles de gris homogéneos, con poca textura, es difícil aplicar técnicas basadas en un pixel o en áreas [9, 10]. Este es el caso de algunas aplicaciones de la robótica, donde las escenas están formadas por interiores y objetos fabricados por el hombre, compuestos principalmente por superficies planas.

Por tanto, proponemos el uso de regiones como primitiva de la correspondencia. Las regiones tienen un contenido semántico mayor que otras primitivas de correspondencia más utilizadas en la literatura como son segmentos de borde o puntos de borde, de modo que las correspondencias resultantes se espera que sean más fiables. Hay muchos métodos que usan regiones como primitiva de la correspondencia [13, 11, 3]. Estos trabajos tratan de encontrar la correspondencia entre regiones de ambas imágenes, de modo que tienen que manejar los problemas de segmentación que pueden aparecer, como por ejemplo el hecho de que el área correspondiente a una región puede estar fragmentada en múltiples regiones en la otra imagen. Estos problemas hacen más difícil el cálculo de la correspondencia. Además, el cálculo de la superficie tridimensional que dio lugar a ambas regiones es difícil cuando existen diferencias en la segmentación de las regiones. Por estas razones, se propone segmentar solamente una de las dos imágenes, que llamaremos imagen de referencia, y buscar la correspondencia de cada región en la otra imagen sin segmentar.

Otro aspecto interesante del uso de regiones es que las regiones representan áreas donde la profundidad varía suavemente, y sus contornos representan discontinuidades en la intensidad. Dado que las discontinuidades en la profundidad están presentes normalmente en discontinuidades en la intensidad, podemos aplicar una restricción de continuidad en el interior de las regiones mientras que se permite la aparición de discontinuidades de la profundidad en sus contornos.

Proponemos un método que calcula la profundidad de cada región minimizando una función de energía basada en la correlación entre regiones. Para cada región en la imagen de referencia, su región correspondiente en la otra imagen se calcula a partir de la profundidad actual y los parámetros de calibración y la minimización de la correlación entre ambas determinará la profundidad de la región de referencia. Sin embargo, la resolución de este problema requiere la aplicación de alguna restricción sobre la profundidad dentro de cada región. Se pueden hacer varias suposiciones sobre la distribución de la profundidad en una región: la profundidad es constante (la escena está formada por planos paralelos al plano imagen), la profundidad varía linealmente (escena formada por cualquier tipo de planos), la profundidad varía arbitrariamente (escena formada por cualquier tipo de superficies). Por ejemplo, la restricción de superficies planas sería aplicable al tipo de escenas descrito anteriormente.

En la sección 2 se resume el trabajo previo relacionado con la técnica que se propone. En la sección 3 se define la función de energía a minimizar basada en regiones, y se obtiene el algoritmo de correspondencia para la restricción más sencilla. En la sección 4 se muestran algunos de los experimentos realizados con pares de imágenes sintéticas y reales. Finalmente, las conclusiones y las líneas de trabajo futuro se presentan en la sección 5.

2 Trabajo previo

La técnica de minimización y regularización [14] encara el problema de la correspondencia como la minimización de una función de energía, expresada como función de la profundidad de la escena, de modo que se puede calcular directamente mediante un proceso iterativo.

Dadas I_1 e I_2 dos vistas diferentes de la misma escena, donde tomamos I_1 como *imagen de referencia*, definimos Z como un mapa de profundidades correspondientes a todos los pixeles de I_1. Cuando el sistema estereoscópico está fuertemente calibrado, podemos calcular el punto correspondiente $m' = (u', v')$ en la imagen I_2 de un punto dado $m = (u, v)$ en la imagen I_1 dada su profundidad, $Z(u,v)$,

$$m' = f_{12}(m, Z(m)), \tag{1}$$

donde f_{12} depende de las matrices de proyección de las imágenes I_1 e I_2 [6]. Esta relación entre m y m' depende de la profundidad del punto tridimensional de la escena,

$$s' \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J' & 0_3 \end{bmatrix} D' D^{-1} \begin{bmatrix} zJ^{-1} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \\ 1 \end{bmatrix}, \tag{2}$$

donde J, J', D, D' contiene los parámetros intrínsecos y extrínsecos de calibración de ambas imágenes, respectivamente, y $z = Z(u,v)$.

El problema de la correspondencia puede expresarse como un problema de minimización de energía, donde la función a minimizar es como sigue:

$$E(Z) = \int_m (\varphi(m, Z(m)) + \lambda \phi(|\nabla_m Z|))\, dm. \tag{3}$$

El primer término, llamado *término de minimización* representa el *error en similitud* de los puntos de la imagen I_1 con sus correspondientes en la imagen I_2. El segundo término, llamado *término de regularización*, introduce cierta *restricción en la forma* de la función profundidad. Este término debería suavizar isotrópicamente la solución cuando el gradiente de la profundidad es pequeño (regiones homogéneas) y debería suavizar anisotrópicamente la solución cuando el gradiente de profundidad es grande (la presencia de discontinuidades en la profundidad es posible).

La función de energía propuesta en [14] consiste en la suma del cuadrado de las diferencias de un conjunto de k características para cualquier punto dado. De acuerdo con la ecuación de Euler [5], la solución $z = Z(m)$ verifica

$$\sum_k \left(I_1^k(m) - I_2^k(m') \right) \frac{\partial}{\partial z}\{I_2^k(m')\} + \frac{\lambda}{2}\left(\frac{\phi'(|\nabla_m Z|)}{|\nabla_m Z|} Z_{\xi\xi} + \phi''(|\nabla_m Z|) Z_{\eta\eta} \right) = 0, \tag{4}$$

donde $I_i^k(m)$ representa la característica k del pixel m en la imagen I_i, $m = (u,v)$ es el pixel en la imagen de referencia, $m' = f_{12}(m,z)$ su punto correspondiente en la otra imagen y $Z_{\eta\eta}$, $Z_{\xi\xi}$ son las derivadas direccionales de segundo orden de $Z(m)$ en las direcciones del gradiente, y ortogonal al gradiente, respectivamente.

La solución se puede obtener mediante un método por descenso de gradientes. Dada una profundidad inicial para cada pixel de la imagen, la profundidad se incrementa o decrementa iterativamente en cada paso para alcanzar la solución. Es necesario utilizar un esquema multiescala para alcanzar la convergencia. El proceso iterativo se aplica a cada nivel de las pirámides de la imagen, y el mapa de profundidades resultante en cada nivel se emplea para inicializar el siguiente nivel.

3 Minimización de Energía para Correspondencia basada en Regiones

Proponemos usar regiones como primitiva de la correspondencia, e imponer cierta restricción en la distribución de la profundidad de cada región, como es la suposición de una escena formada por superficies planas. No se necesita un término de regularización dado que se consideran implícitamente tanto la continuidad en la solución como la posibilidad de aparición de discontinuidades. La continuidad de la profundidad se satisface mediante la aplicación de la restricción sobre la distribución de la profundidad en las regiones. Aunque no todas las discontinuidades de intensidad son debidas a discontinuidades en la profundidad, casi todas las discontinuidades en la profundidad producen alguna discontinuidad en la intensidad. Por tanto, los contornos de las regiones, que se segmentan bajo la consideración de la similitud de la intensidad, son los candidatos para las discontinuidades de la profundidad. Así, la función de energía a minimizar será,

$$E(Z) = \int_R \varphi(R, Z(R))dR, \tag{5}$$

donde R es cualquier región de la imagen de referencia.

La región R' que corresponde a R con una profundidad dada, $Z(R)$, es

$$R' = g_{12}(R, Z(R)) = \{m' = f_{12}(m, Z(m)), \forall m \in R\}, \tag{6}$$

donde $Z(m)$ depende de la restricción asumida sobre la profundidad de las regiones. Es decir, la función g_{12} depende de las matrices de proyección de ambas imágenes, y la restricción sobre la forma de $Z(R)$. Por ejemplo, si se asume que la profundidad es constante en cada región, el contorno de R' tiene exactamente la misma forma y tamaño que el contorno de R y g_{12} consiste en calcular las disparidades en ambos ejes. Si se asumen superficies planas en ambos ejes, la forma de R' es dependiente linealmente de la forma de R y g_{12} consiste en calcular esta dependencia.

3.1 Notación

Dado un par de regiones R y R' de forma y tamaño idénticos, supongamos que numeramos todos los pixeles de estas regiones como m_i y m'_i, donde $i = 1..N$ y N es el tamaño de R, tal que m_i y m'_i son los pixeles en posiciones relativas idénticas dentro de ambas regiones.

Denotamos la *intensidad media* y *desviación típica* de cualquier región R en la imagen I_k como $\mu_k(R)$ y $\sigma_k(R)$, respectivamente. Finalmente, definimos la *intensidad normalizada de media cero* de un pixel m_i en la imagen I_k como

$$\mathcal{I}_k(m_i) = \frac{I_k(m_i) - \mu_k(R)}{\sigma(R)}, \tag{7}$$

donde R es la región que contiene m_i, es decir, $m_i \in R \subset I_k$.

3.2 Función de Energía basada en Correlación

La correlación entre dos regiones R y R' de tamaño y forma indénticos puede calcularse mediante el método de Correlación Cruzada de Media Cero (*Zero-Mean Normalized Cross-Correlation method, ZNCC)*, que utilizando la notación de la sección anterior puede expresarse como

$$C(R, R') = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \mathcal{I}_1(m_i)\mathcal{I}_2(m'_i). \tag{8}$$

El valor ZNCC varía de -1 a 1, donde -1 indica que los valores de intensidad de ambas regiones son completamente diferentes y 1 significa que son idénticos. Como necesitamos una medida de *error de similitud*, proponemos la siguiente función de error de similitud:

$$\varphi(R,Z) = -\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\mathcal{I}_1\left(m_i\right)\mathcal{I}_2\left(m_i'\right). \tag{9}$$

Según la ecuación de Euler, y asumiendo profundidad constante en las regiones, z es solución de la siguiente ecuación,

$$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\mathcal{I}_1\left(m_i\right)\left(\mathcal{I}_2(m_i')\mathcal{H}(R') - \frac{\partial}{\partial z}\{I_2(m_i')\}\right) = 0, \tag{10}$$

donde $\mathcal{H}(R')$ es el *gradiente medio ponderado* de la región R',

$$\mathcal{H}\left(R'\right) \;=\; \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\mathcal{I}_2(m_k')\frac{\partial}{\partial z}\{I_2(m_k')\}. \tag{11}$$

3.3 Análisis de la ecuación derivada

Para analizar el significado de la ecuación 10, vamos a desarrollarla como sigue,

$$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\mathcal{I}_1\left(m_i\right)\mathcal{I}_2\left(m_i'\right)\mathcal{H}\left(R'\right) - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\mathcal{I}_1\left(m_i\right)\frac{\partial}{\partial z}\{I_2(m_i')\} = 0. \tag{12}$$

Por un lado, el primer término es proporcional a la medida de correlación propuesta en 8. Por otro lado, el segundo término es muy similar a la definición de $\mathcal{H}$. Definimos una nueva medida, similar a $\mathcal{H}$, que relacione intensidades en la imagen de referencia con gradientes en la otra imagen,

$$\mathcal{H}_{12}(R,R') = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\mathcal{I}_1(m_i)\frac{\partial}{\partial z}\{I_2(m_i')\}. \tag{13}$$

Entonces, la derivada de F con respecto a z puede expresarse como

$$C\left(R,R'\right)\mathcal{H}\left(R'\right) - \mathcal{H}_{12}\left(R,R'\right) = 0. \tag{14}$$

$\mathcal{H}$ y $\mathcal{H}_{12}$ dependen del gradiente de intensidad en la dirección de la línea epipolar, y pueden considerarse medidas similares, cuyo significado es una comparación entre la intensidad normalizada de media cero y el gradiente de intensidad. $\mathcal{H}$ compara intensidad y gradiente en R', mientras que $\mathcal{H}_{12}$ compara intensidad en R con gradiente en R'. La correlación entre intensidades en ambos vecindarios, C, varía entre -1 y 1. Si R' es la región correspondiente a R en condiciones ideales, $C=1$ y $\mathcal{H}=\mathcal{H}_{12}$, de modo que $C\mathcal{H}-\mathcal{H}_{12}=0$ y la profundidad no se incrementa ni decrementa: el algoritmo iterativo para cuando se alcanza la profundidad apropiada. En otro caso, $C\mathcal{H}-\mathcal{H}_{12}\neq 0$ da una medida de cómo debería modificarse la profundidad para acercarse a la solución. Es decir, la solución está en el paso por cero de $C\mathcal{H}-\mathcal{H}_{12}$.

3.4 El proceso de correspondencia

El objetivo es calcular un incremento o decremento pequeño en la profundidad en cada paso del algoritmo iterativo para modificar la profundidad lentamente hacia la solución. Para evitar alcanzar algún mínimo local en lugar de la solución global, se necesita un esquema multi-escala. La estructura piramidal permite que el algoritmo converga a una solución escalada en cada nivel, que se utiliza para inicializar el siguiente nivel.

Otro aspecto importante es la cantidad de incremento/decremento, ΔZ. Por un lado, no es deseable un ΔZ que produzca desplazamientos mayores que unos pocos pixeles para evitar saltos que podrían llevar a un mínimo diferente. Por tanto, ΔZ no debería producer incrementos/decrementos en m' mayores que, por ejemplo, un pixel. Como $m' = (u', v')$ puede calcularse a partir de $m = (u, v)$ y la profundidad estimada actual, Z^t (ecuación 2), proponemos calcular la nueva profundidad, Z^{t+1}, a partir del $\Delta u'$ o $\Delta v'$ deseado.

Cuando $C\mathcal{H} - \mathcal{H}_{12} > 0$ la profundidad debe ser decrementada y viceversa. Si la profundidad ha sido decrementada iterativamente para hacer decrecer $C\mathcal{H} - \mathcal{H}_{12}$ hacia 0 y obtenemos un valor negativo, el último decremento debe ser reducido para obtener más precisión en la solución. La idea es utilizar decrementos fijados de antemano para llegar hasta el paso por cero y después decrementos más pequeños hasta obtener la solución con la precisión que se requiera.

```
ALGORITMO 1: COMPUTEDEPTH
for each region R in I_1
        Z^t = initial Z
        R' = g_12(R, Z^t)
        E^0 = C (R, R') H (R') - H_12 (R, R')
        Δu' = sign(E^0)1
        repeat
                Z^{t+1} = f(Δu', calibration parameters, Z_min, Z_max)
                R' = g_12(R, Z^{t+1})
                E^{t+1} = C (R, R') H (R') - H_12 (R, R')
                if sign(E^{t+1}) ≠sign(E^0) then
                        oldZ = Z^t
                        Z^t = Z^{t+1}
                else
                        Δu' = Δu'/2
                endif
        until E^{t+1} = 0 or Z^{t+1} = oldZ
endfor
```

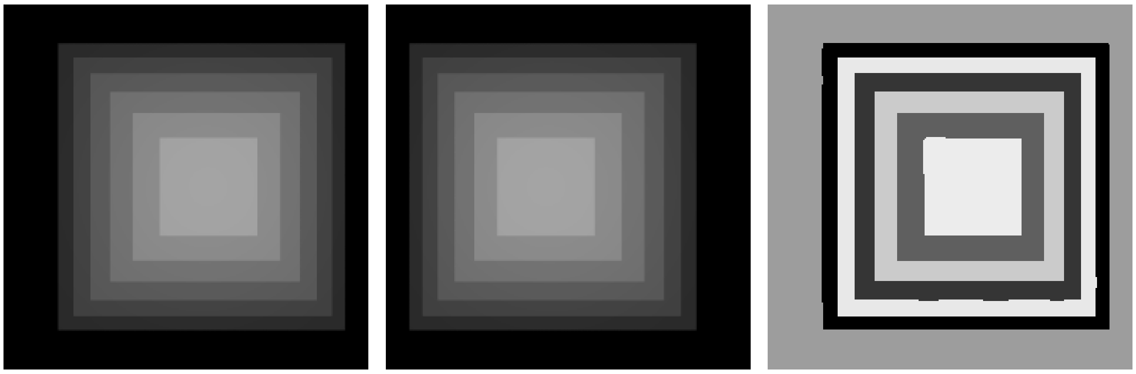
Algoritmo 1: Cálculo de la profundidad en cada nivel de la pirámide.

Como la profundidad se considera constante dentro de las regiones, se obtienen los mismos resultados con cualquier $0 < \Delta u' \leq 1$ para el cálculo de ΔZ. Por tanto, se ha utilizado $\Delta u' = 1$.

4 Resultados Experimentales

Hemos realizado experimentos con diferentes algoritmos de segmentación: una técnica de agrupamiento [1] que agrupa pixeles cercanos en regiones dentro de cierta varianza en el nivel de gris y un método de segmentación por unión de regiones [15].

En la Fig. 1, se muestra un par estéreo de imágenes sintéticas que representan una escena donde las profundidades varían de 82 a 117 cm. La segmentación de la imagen de referencia,

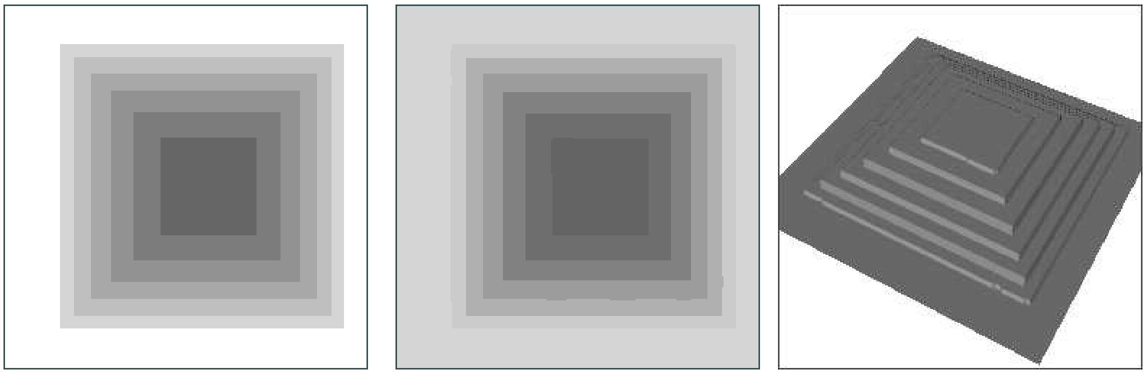


(a) Imagen izquierda (b) Imagen derecha (c) Segmentación

Figura 1: Par estéreo de imágenes sintéticas.

en este caso la izquierda, se muestra en 1(c). El mapa de profundidades real y el obtenido se muestran en la Fig. 2. Las áreas más claras corresponden a puntos más lejanos, mientras que las áreas más oscuras corresponden a puntos más cercanos.

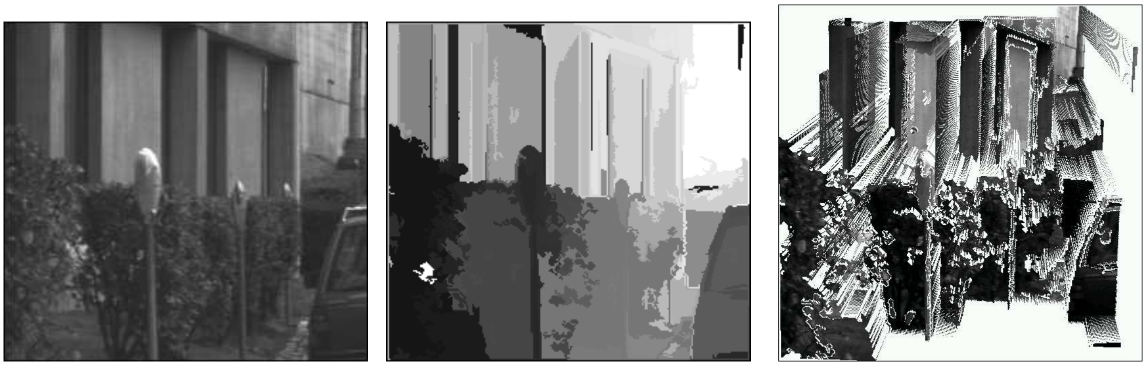
Los resultados muestran que se han hallado todas las profundidades, excepto en el caso de la región del fondo de la escena que está limitada por los bordes de la imagen, de modo que obtiene un valor de profundidad similar a las regiones adyacentes a ella. El error relativo medio obtenido en todas las profundidades calculadas es el 3.78%, exceptuando el fondo.



(a) Profundidades reales (b) Profundidades obtenidas (c) Reconstrucción 3D

Figura 2: Mapas de profundidades. Las áreas más claras son los puntos más lejanos.

En la Fig. 3, se muestran los resultados obtenidos para un par estéreo de imágenes reales. Cabe destacar que aunque se ha aplicado la restricción de profundidad constante en las regiones, el mapa de profundidades obtenido (Fig. 3(b)) muestra que los resultados son satisfactorios y da una aproximación de la escena 3D (Fig. 3(c)). Aunque a algunas áreas no se les ha asignado la profundidad esperada (algunas regiones oscuras y una blanca) el método obtiene resultados satisfactorios en el caso de las discontinuidades de la profundidad, como es el caso



(a) Imagen izquierda (b) Mapa profundidades (c) Reconstrucción 3D

Figura 3: Un ejemplo real.

del parquímetro y el coche.

5 Conclusiones y Trabajo Futuro

Hemos presentado la base de un nuevo método de visión estéreo que obtiene directamente (sin el cálculo intermedio de las disparidades) la profundidad de las regiones resultantes de la segmentación de una imagen de referencia. El método consiste en minimizar una función de energía en un esquema multi-escala, de modo que el algoritmo converge a una solución escalada en cada nivel, que se utiliza para inicializar el siguiente nivel.

Se ha propuesto una función de energía basada en la correlación de las regiones correspondientes para la búsqueda de la mejor correspondencia. En cada iteración, para calcular la región correspondiente en la segunda imagen, se tiene en cuenta la transformación geométrica definida por la geometría de las proyecciones y la profundidad estimada actual de la región.

Se han realizado experimentos en el caso particular de la suposición de que la profundidad es constante dentro de cada región. Las pruebas realizadas muestran que el método obtiene resultados satisfactorios incluso en la presencia de discontinuidades en la profundidad. La principal línea de trabajo futuro se dirige a generalizar el método a la suposición de escenas formadas por superficies planas de cualquier orientación, y posteriormente, otros tipos de superficies.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos P1B98-03 (Fundació Caixa-Castelló), TIC98-0677-C02-01 y TAP95-0710 (CICYT, Ministerio de Educación y Ciencia)

Referencias

[1] J. Badenas, M. Bober, and F. Pla. Motion and intensity-based segmentation and its applications to traffic monitoring. In A. del Bimbo, editor, *Proc. of the 9th Int. Conf. on*

Image Analysis and Processing, volume 1310 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 502–509, Florence, Italy, May 1997. Springer Verlag.

[2] P. N. Belhumeur. *A Bayesian Approach to the Stereo Correspondence Problem.* PhD thesis, Electrical Engineering, Yale University, May 1993.

[3] L. Cohen, L. Vinet, P. Sander, and A. Gagalowicz. Hierarchical region based stereo matching. In *Proc. of the IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 416–421, San Diego, CA, June 1989. IEEE Computer Society Press.

[4] R. Deriche and O. Faugeras. Les EDP en Traitement des Images et Vision par Ordinateur. *Traitement du Signal*, 13(6), 1996. Numéro spécial RFIA'96.

[5] L. Elsgoltz. *Ecuaciones diferenciales y cálculo variacional.* Editorial MIR, Moscu, 1977.

[6] O. Faugeras. *Three-Dimensional Computer Vision: a Geometric Viewpoint.* MIT Press, 1993.

[7] D. Geiger, B. Ladendorf, and A. Yuile. Occlusions and binocular stereo. *Int. J. of Computer Vision*, pages 221–226, 1995.

[8] N. Hollinghurst and R. Cipolla. Uncalibrated stereo hand-eye coordination. *Image and Vision Computing*, 12(3):187–192, Apr. 1994.

[9] S. S. Intille and A. F. Bobick. Disparity-space images and large occlusion stereo. In J.-O. Eklundh, editor, *Proc. of the 3rd European Conf. on Computer Vision*, volume B of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 674–677, Stockholm, Sweden, May 1994. Springer Verlag. Extended version in M.I.T Media Lab Computing Group Technical Report No. 220.

[10] T. Kanade and M. Okutomi. A stereo matching algorithm with an adaptive window: Theory and experiment. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 16(9):920–932, Sept. 1994.

[11] S. B. Marapane and M. M. Trivedi. Region-based stereo analysis for robotics applications. *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, 19(6):1447–1464, Nov. 1989.

[12] Y. Ohta and T. Kanade. Stereo by intra- and inter-scanline search. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 7:139–154, 1985.

[13] S. Randriamasy and A. Gagalowicz. Region based stereo matching oriented image processing. In *Proc. of the IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 736–737, Lahaina, Hawai, June 1991. IEEE Computer Society Press.

[14] L. Robert and R. Deriche. Dense depth map reconstruction: A minimization and regularization approach which preserves discontinuities. In B. Buxton, editor, *Proc. of the 4th European Conf. on Computer Vision*, Cambridge, UK, Apr. 1996.

[15] A. Rosenfeld and A. Kak. *Digital Picture Processing*, volume 1. Academic Press, New York, 1982. Second Edition.