Visión estereoscópica basada en regiones: estado del arte y perspectivas de futuro*

Angeles López
Universitat Jaume I
Campus Riu Sec S/N, 12071 – Castellón
e-mail: lopeza@icc.uji.es

Abstract: *Para obtener la estructura 3D de una escena a partir de un par de imágenes, es esencial resolver el problema de la correspondencia, que es uno de los problemas más difíciles de la visión por computador. Para intentar resolverlo, se han implementado un gran número de algoritmos que se clasifican en diversas categorías. El objetivo de este artículo es hacer una breve revisión bibliográfica de las técnicas de correspondencia, centrándose especialmente en un tipo de primitiva poco utilizada hasta el momento, las regiones, y analizar las razones que han hecho difícil su uso y cuáles son las perspectivas de futuro.*

Palabras clave: visión estereoscópica, el problema de la correspondencia, regiones.

1 Introducción

La visión estereoscópica es el proceso de obtener información tridimensional de una escena a partir de dos vistas diferentes de la misma. Para obtener las correspondencias entre elementos de cada vista, se han desarrollado un gran número de técnicas que difieren en las primitivas consideradas, la estrategia de búsqueda y las restricciones aplicables.

Aquí vamos a centrarnos en el uso de regiones como primitiva de la correspondencia. Las regiones han sido poco utilizadas en este ámbito, principalmente debido a desventajas como la dificultad de extracción de las mismas. Sin embargo, la aparición de nuevas estrategias de correspondencia puede permitir evitar estas desventajas al mismo tiempo que aprovechar sus ventajas. En este artículo se muestra que el uso de regiones en la correspondencia es una línea en la que todavía queda por investigar.

En la sección 2 se revisan brevemente las técnicas de correspondencia. En la sección 3 se revisan las técnicas basadas en regiones, sus ventajas e inconvenientes. Finalmente, en la sección 4 se resumen las ideas principales y las conclusiones de este artículo.

*Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos P1 .1B2000-22 de la Fundació Caixa-Castelló y TIC2000-1131 de la CICYT, Ministerio de Educación y Ciencia

2 Breve revisión de las técnicas de correspondencia

El problema de la correspondencia no es un área exclusiva de la visión estereoscópica, dado que también aparece en otras áreas de la visión por computador como el reconocimiento de objetos, la alineación de imágenes, el análisis de secuencias de imágenes, y el análisis de imágenes tridimensionales [Zha93, Bro92]. Centrándonos en los métodos que intentan resolver el problema de la correspondencia en la visión estereoscópica, las revisiones existentes [BF82, DA89] los clasifican en dos grandes familias:

- Los *métodos basados en áreas (o en intensidades)*, que explotan la resolución radiométrica de los pixeles mediante el uso de ventanas y obtienen muy buenos resultados cuando las escenas se componen de superficies con alto grado de textura. Estos métodos proporcionan un mapa de disparidades denso, lo que es su principal ventaja, junto con la posibilidad de obtener precisión subpixel. Su principal desventaja es que implícitamente asumen que la superficie es continua y por tanto, tienen problemas en presencia de discontinuidades en las superficies tridimensionales.

- Los *métodos basados en características (o en primitivas)*, que explotan las características de alto nivel obtenidas a partir de la imagen, que son elementos (pixeles de borde, esquinas, segmentos de borde lineales o curvos, regiones, etc.) con atributos distintivos (posición, orientación, curvatura, etc.) que se usan para buscar las correspondencias. Su principal desventaja es que proporcionan un mapa de disparidades disperso, mientras que su principal ventaja es la robustez de los resultados.

Debido al gran número y diversidad de métodos existentes, las revisiones recientes tienden a enfocarse en una categoría [Jon97] o a realizar comparaciones [FFH+92, SZ99]. A continuación, nos centramos en tres características de especial interés en los métodos de correspondencia.

2.1 Consistencia en la correspondencia

Algunos métodos de correspondencia calculan la disparidad de cada elemento independientemente, adoptando decisiones locales basadas en propiedades (generalmente intensidades) de los elementos. Algunos de estos métodos se basan en correlación, mediante una ventana de tamaño fijo [Fua91], una ventana adaptativa [KO94], o ventanas múltiples [Lot96]. Suelen obtener correspondencias espúreas debido al ruido y las ambigüedades en las áreas de poca textura, que se detectan mediante tests de validación [Fua91].

La mayoría de las técnicas de correspondencia estéreo tratan de incrementar la consistencia entre correspondencias propagando restricciones entre las correspondencias posibles, de modo que encuentran el mapa de disparidades que minimiza (optimiza) cierta función global, llamada la función de energía o función objetivo. Se realiza una búsqueda en el espacio de posibles soluciones con el objetivo de obtener el conjunto de correspondencias que minimiza la función dada, lo que en general es un problema NP-duro [Jon97, SZ99]. Para evitar su elevado coste, se han desarrollado métodos de optimización local, con el objetivo de proporcionar resultados localmente consistentes en menos tiempo.

Un conjunto de métodos de correspondencia con optimización global son los basados en grafos (isomorfismo de subgrafos, búsqueda del *clique* máximo más grande [HS89, NL89]), que obtienen el mínimo exacto de la función objetivo. Estos métodos son muy caros computacionalmente, debido a la naturaleza NP-dura del problema. Las falsas correspondencias debidas a ambigüedades y ruido se pueden evitar introduciendo relajación discreta [WH97], *simulated-annealing* [HHVN90] o búsqueda genética [CWH97].

Otro conjunto de métodos de optimización global muy importante son los que usan la programación dinámica como estrategia de búsqueda [GLY95, OK85, BM92]. Estos métodos consideran que el problema de la correspondencia puede ser tratado como el problema de encontrar un camino óptimo en un plano de búsqueda 2D donde se representan todas las correspondencias posibles de una línea epipolar (típicamente una fila de la imagen o *scanline*). Recientemente, han aparecido formulaciones de flujo máximo [RC98, IG98, BVZ99] que incorporan las restricciones entre *scanlines* en el proceso de optimización, ensamblando todos los caminos de coste mínimo en una superficie de coste mínimo. Construyen un grafo dirigido donde el corte mínimo asociado al flujo máximo proporciona una superficie de disparidad para la imagen completa de una vez. Estas formulaciones calculan un mínimo local aunque permitiendo movimientos grandes.

En general, debido a su elevado coste computacional, la mayoría de los métodos de optimización global necesitan reducir drásticamente el número de elementos a emparejar utilizando como primitiva características de elevado nivel de abstracción, tales como segmentos lineales [HS89, HHVN90], segmentos curvos [NL89], *T-junctions* [WH97], regiones [LP00], excepto los métodos basados en programación dinámica y en flujo máximo.

Los métodos de optimización local, en lugar de un mínimo global de la función de energía, intentan obtener un mínimo local con ciertas garantías de calidad. Tales son las aproximaciones variacionales [RD96, AS00, LPR01], que se basan en ecuaciones diferenciales parciales obtenidas a partir de las ecuaciones de Euler. Estos métodos utilizan técnicas multirrejilla [Ter86] para reducir la sensibilidad a la estimación inicial, así como para acelerar la convergencia del algoritmo.

Las técnicas basadas en relajación probabilística [BT80, Nas92, PCLO00] también realizan optimización local: establecen probabilidades a partir de un proceso de correspondencia estéreo local y actualizan estas probabilidades iterativamente, dependiendo de las probabilidades de las características vecinas y de las restricciones aplicables. La mayoría de estos métodos se basan en primitivas, tales como esquinas [BT80], segmentos lineales [PCLO00] y segmentos curvos [Nas92].

Otro conjunto de métodos de optimización local que actualizan iterativamente los valores de probabilidad de correspondencia, son las aproximaciones cooperativas [SS96, ZK00]. Éstos son métodos basados en áreas que construyen un array 3D de probabilidad de la correspondencia donde se representan todas las disparidades de todos los pixeles, y un algoritmo iterativo actualiza los valores de probabilidad de correspondencia difundiendo soporte entre ciertos valores vecinos e inhibiendo otros.

En general, las técnicas de optimización local son sensibles por naturaleza a la estimación inicial. A menudo, para calcular los valores iniciales de probabilidad se emplea correlación normalizada.

2.2 Mapa de disparidades denso

Además de la consistencia, una de las características más importantes de los algoritmos estéreo es la densidad del mapa de disparidades resultante, ya que en muchas aplicaciones interesantes, como navegación de robots, se requiere un mapa denso.

Los métodos basados en características [Jon97] proporcionan un mapa de disparidades disperso, lo que ha llevado a la aparición de métodos jerárquicos para refinar los resultados y reducir la dispersión de los mismos. Por ejemplo, utilizando diferentes características en cada nivel de la jerarquía [MT89, dA96] los resultados obtenidos con las primitivas de mayor nivel sirven para guiar la búsqueda de la correspondencia de primitivas del siguiente nivel. Finalmente, se necesita un postproceso para obtener descriptores de la superficie a partir de la información dispersa [Ter82]. Sólo unos pocos métodos sacan provecho de las características emparejadas para obtener la estructura tridimensional directamente [TV95, Tar96, CB96, LPR01].

Los métodos basados en áreas proporcionan un mapa de disparidades denso, que generalmente se transforma en descriptores estructurados a través de métodos de segmentación de datos de rango [BJ88, CL97]. Algunos métodos basados en áreas, como los basados en correlación, tienen dificultades en presencia de oclusiones y discontinuidades en la profundidad, pero la mayoría pueden proporcionar mapas de disparidades densos con consistencia elevada. Tales son los métodos variacionales, los cooperativos, los basados en programación dinámica y los basados en flujo máximo.

2.3 Oclusiones y discontinuidades en la profundidad

El análisis de las oclusiones ha sido a menudo ignorado o tratado como un proceso secundario que se postpone hasta que la correspondencia se ha completado [BF82, DA89]. Sin embargo, Geiger *et al.* [GLY95] mostraron que las oclusiones pueden ayudar a encontrar la correspondencia: es posible modelar explícitamente las oclusiones como parte del problema a resolver y por tanto, como parte de la solución. De este modo, las oclusiones y las discontinuidades en la profundidad no son problemas a evitar, sino una fuente de información a tener en cuenta. Belhumeur *et al.* [BM92] también resaltaron la importancia de éstos y otros elementos (como orientación de la superficie y pliegues) en el proceso correspondencia, basándose en estudios psicológicos del sistema de visión humano, que muestran el uso de las áreas no emparejadas para asignar la profundidad.

A pesar de ello, muchas metodologías tienen dificultades en modelar las oclusiones y discontinuidades en el espacio de búsqueda. Por ejemplo, en los métodos basados en características, hay elementos que no tienen correspondencia debido a las oclusiones, pero también debido al ruido y a las limitaciones de los algoritmos de extracción, lo cual dificulta la modelización de las oclusiones. En general, en el postproceso que obtiene descriptores de superficie a partir de la información dispersa [Ter82] se emplea algún método de interpolación que sea capaz de detectar las discontinuidades.

En el caso de los métodos basados en áreas, hay diferentes aproximaciones a la detección de oclusiones y discontinuidades. Los métodos cooperativos utilizan difusión

Figura 1. Modelo poliédrico tridimensional de la escena obtenido a partir de la correspondencia de regiones de un par estéreo de imágenes, sin necesidad de segmentación de datos de rango.

no uniforme [SS96, ZK00] para evitar el emborronamiento en las discontinuidades, y los métodos variacionales utilizan un término de regularización que preserve las discontinuidades [RD96, AS00], pero las oclusiones no son representadas ni detectadas explícitamente [SS96, RD96, AS00], o se obtienen en un postproceso [ZK00]. Por otro lado, los algoritmos basados en programación dinámica y las formulaciones de flujo máximo pueden modelar explícitamente las oclusiones en el espacio de correspondencia de modo que las oclusiones, las discontinuidades y las correspondencias se calculan al mismo tiempo.

3 Correspondencia basada en regiones

La correspondencia basada en regiones se enmarca dentro de la familia de métodos basados en características. En general, cuanto mayor es el nivel semántico de la primitiva, las correspondencias que se obtienen son más robustas [MT89] pero nos encontramos con dos importantes desventajas: el mapa de disparidades es más disperso, y la extracción de las primitivas es más difícil.

Para evitar la primera desventaja, algunos autores han propuesto sistemas jerárquicos [MT89, dA96]. Otros autores, observando que una región es la proyección en un plano 2D de una superficie 3D, intentan obtener la superficie 3D directamente a partir de cada par de regiones correspondientes 2D. Aunque esta metodología necesita imponer restricciones sobre las superficies 3D a obtener (por ejemplo, que sean planas [TV95, Tar96, CB96, LPR01]), tiene dos ventajas importantes: la primera, que si podemos obtener la superficie plana 3D de todos los pares de regiones correspondientes, obtendríamos un mapa de profundidades denso, y la segunda, que obtendríamos directamente un modelo 3D de la escena sin necesidad de aplicar técnicas de segmentación de rango a los datos densos, tal como se muestra en la figura 1.

La segunda desventaja, sin embargo, tiene mayor repercusión en la correspondencia de regiones debido a que segmentar una imagen es más difícil que obtener bordes, esquinas, o ciertos puntos de interés. Por ejemplo, en la figura 2 se ha segmentado un par estéreo de imágenes con un algoritmo basado en crecimiento y unión de regiones.

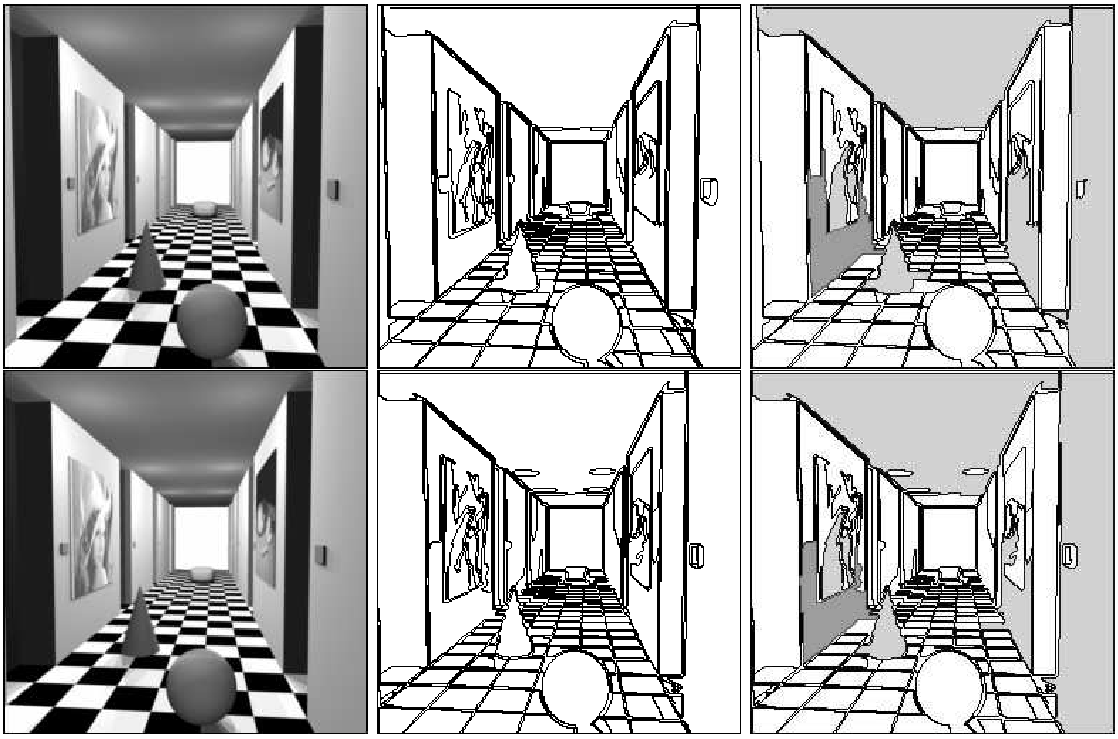

Figura 2. Ejemplo de diferencias en la segmentación de un par estereoscópico de imágenes [Fro97]. De izquierda a derecha: imágenes originales, segmentaciones y uniones de regiones (en grises).

El problema aparece cuando dos regiones correspondientes no tienen formas y tamaños similares debido al ruido, a las limitaciones en las técnicas de segmentación, etc. En el ejemplo de la figura 2, el cono de la imagen izquierda (arriba) se ha segmentado junto a un azulejo, a diferencia de la derecha (abajo). Una primera solución al problema consiste en partir de una segmentación jerárquica de varios niveles [CVSG89, VSCG89] (un árbol de regiones de cada imagen), y buscar la correspondencia entre nodos de ambos árboles. Otra solución consiste en agrupar regiones de ambas imágenes con el objetivo de que las regiones resultantes de la unión mejoren la correspondencia [LP00], de modo que no es necesario calcular y mantener la jerarquía de regiones. Se trata de un método basado en grafos que permite, en una etapa previa a la correspondencia, unir regiones adecuadamente, mediante criterios basados en correlación. En la columna de la derecha de la figura 2 se puede observar el resultado de este preproceso.

Sin embargo, el problema es más complejo. Por ejemplo, la deformación que sufre el cuadro de la pared derecha, de una imagen a la otra, hace que su segmentación tenga notables diferencias. Para poder reconstruir este cuadro, se necesitaría unir regiones tan diversas que haría imposible reconstruir el cuadro como un objeto distinto de la pared. El problema es todavía más complejo cuando la unión de regiones implica la unión de objetos de distinta profundidad. Por tanto, existen numerosos casos que no se solucionan sólo con uniones.

Además de estos casos, existe el problema de que pequeñas diferencias entre la segmentación de cada vista de la escena pueden dar lugar a importantes imprecisiones en la reconstrucción de la superficie 3D, problema que se agrava al aumentar el ruido. Los trabajos que han intentado obtener una reconstrucción a partir de la correspondencia de regiones han necesitado añadir una etapa de validación de las correspondencias previa a la etapa de reconstrucción. Chabbi y Berger [CB96] proponen partir de regiones poliédricas de 3 imágenes de la escena y resuelven la validación mediante un test de coplanaridad 3D de un conjunto de segmentos 3D. Tarel y Vezien [TV95, Tar96] basan la validación en invariantes geométricos (momentos de orden tres) entre un par de regiones correspondientes, pero también en la correlación, para separar superficies válidas de superficies ocultas. Aunque estos trabajos consiguen evitar reconstrucciones erróneas debidas a las diferencias en la segmentación, las regiones no válidas se desechan, y por tanto, aunque la reconstrucción es válida, no es densa.

La dificultad del problema ha llevado a intentar buscar soluciones alternativas:

- Cooperación entre correspondencia y segmentación [RG91, RG93]. El algoritmo de segmentación construye regiones diviéndolas recursivamente, y el resultado de la correspondencia es utilizado para validar la segmentación y parar la división.

- No segmentar las imágenes y utilizar *parches* de la superficie 3D a reconstruir [SK97]. A cada *parche* se le asocia un plano 3D, y para cada plano 3D posible, se calculan sus proyecciones y se busca el plano que minimice la diferencia en intensidad entre proyecciones (basado en áreas).

- Segmentar sólo una de las dos imágenes del par estéreo y asociar un plano 3D a cada región [LPR01]. Aunque la estrategia de búsqueda es diferente a la anterior, la idea básica es similar, pero utilizando regiones, de modo que el interior de cada región se asocia a una superficie continua, mientras que se permiten discontinuidades de profundidad en los contornos (basado en áreas y en características).

En la primera alternativa, a pesar de la cooperación, todavía no se obtiene un resultado denso a partir de imágenes reales, probablemente debido a que las medidas de similitud entre regiones no dan resultados admisibles cuando la deformación de las regiones de una imagen a otra es grande. Este problema es resuelto en la segunda alternativa que permite una rotación y traslación arbitraria entre las cámaras y obtiene resultados densos, pero no incluye la detección de oclusiones y discontinuidades. Por otro lado, segmentar sólo una imagen y mantener durante el proceso de correspondencia un modelo 3D de la escena [LPR01] permite detectar las oclusiones y que éstas cooperen en el cálculo de la correspondencia. Este método ha dado resultados satisfactorios bajo la suposición de una escena hecha de planos paralelos, pero el manejo de planos en cualquier orientación está todavía en desarrollo. En la figura 3 se pueden ver el mapa de disparidades, el mapa de oclusiones y otra vista del modelo 3D obtenido a partir del par estéreo de la figura 1. Se puede apreciar que la mesa no ha sido bien reconstruida, debido a la restricción impuesta, pero se han obtenido las oclusiones principales.

Figura 3. Mapa de disparidades, mapa de oclusiones y vista del modelo 3D.

4 Conclusiones

El alto nivel semántico de las regiones hace que tengan ciertas ventajas respecto a otras primitivas en visión estereoscópica. Una región representa una zona homogénea y su contorno representa discontinuidad en la intensidad, por lo que se puede considerar como la proyección de una superficie 3D contínua en cuyo contorno pueden aparecer discontinuidades. Esto permite obtener un modelo 3D directamente de la correspondencia de regiones. Las técnicas más recientes de correspondencia basada en regiones suelen basarse también en intensidad (correlación o diferencias de intensidad), ya que basar la correspondencia sólo en atributos geométricos no es suficiente, y a medida que se incrementan los requisitos (mapa denso de elevada consistencia preservando las discontinuidades) es mayor el esfuerzo computacional necesario para llevarlo a cabo, al igual que en el resto de métodos de correspondencia.

A pesar de sus ventajas, las regiones se han utilizado muy poco como primitiva de la correspondencia debido, principalmente, a la dificultad de extracción. Sin embargo, existen nuevas alternativas de correspondencia que consideran el uso de regiones, evitando los problemas derivados de las diferencias de la segmentación de un par de imágenes. Todavía hay muy pocos trabajos que exploren estas alternativas, que se pueden resumir en: cooperación entre correspondencia y segmentación, y búsqueda del plano 3D que minimice las diferencias de intensidad entre proyecciones basándose en regiones de una sola imagen. Por tanto, en correspondencia de regiones queda por investigar estas líneas de trabajo, y probablemente, su combinación con otros métodos ya existentes.

Referencias

[AS00] Luis Alvarez and Javier Sánchez. Reconstrucción 3-d a partir de un par estéreo de imágenes en color utilizando ecuaciones en derivadas parciales. In *X CEIG*, Castelló, Spain, June 2000.

[BF82] S.T. Barnard and M.A. Fishler. Computational stereo. *ACM Comp. Surveys*, 14(4):553–572, 1982.

[BJ88] P. J. Besl and R. C. Jain. Segmentation through variable-order surface fitting. *IEEE Trans. on PAMI*, 10(2):167–192, March 1988.

[BM92] P.N. Belhumeur and D. Mumford. A bayesian treatment of the stereo correspondence problem using half-occluded regions. In *Proc. IEEE Conf. CVPR*, Urbana Champaign, IL, June 1992.

[Bro92] Lisa Gottesfeld Brown. A survey of image registration techniques. *ACM Computing Surveys*, 24(4):325–376, December 1992.

[BT80] Stephen T. Barnard and William B. Thompson. Disparity analysis of images. *IEEE Trans. on PAMI*, 2(4):333–340, July 1980.

[BVZ99] Y. Boykov, O. Veksler, and R. Zabih. Fast approximate energy minimization via graph cuts. In *Proc. 7th ICCV*, pages 377–384, 1999.

[CB96] Houda Chabbi and Marie Odile Berger. Using projective geometry to recover planar surfaces in stereovision. *Pattern Recognition*, 29(4):533–548, 1996.

[CL97] L.-H. Chen and W.-C. Lin. Visual surface segmentation from stereo. *IVC*, 15:95–106, 1997.

[CVSG89] L. Cohen, L. Vinet, P.T. Sander, and A. Gagalowicz. Hierarchical region based stereo matching. In *Proc. IEEE Conf. CVPR*, pages 416–421, San Diego, CA, June 1989. IEEE Computer Society Press.

[CWH97] Andrew D.J. Cross, Richard C. Wilson, and Edwin R. Hancock. Inexact graph matching using genetic search. *Pattern Recognition*, 30(6):953–970, 1997.

[DA89] Umesh R. Dhond and J.K. Aggarwal. Structure from stereo - a review. *IEEE Trans. on SMC*, 19(6):1489–1510, 1989.

[dA96] L. de Agapito. *Estrategias de correspondencia jerárquica y métodos directos de autocalibración para un sistema estereoscópico binocular.* PhD thesis, Instituto de Automática Industrial, October 1996.

[FFH+92] O. Faugeras, P. Fua, B. Hotz, R. Ma, L. Robert, M. Thonnat, and Z. Zhang. Quantitative and qualitative comparison of some area and feature-based stereo algorithms. In W. Förstner and S. Ruwiedel, editors, *Robust Computer Vision: Quality of Vision Algorithms*, pages 1–26. Wichmann, Germany, 1992.

[Fro97] Thorsten Froehlinghaus. Stereo images with ground truth disparity and occlusion. `http://www-dbv.cs.uni-bonn.de/~ft/stereo.html`, August 1997.

[Fua91] Pascal Fua. Combining stereo and monocular information to compute dense depth maps that preserve depth discontinuities. In *IJCAI*, Sydney, Australia, August 1991.

[GLY95] Davi Geiger, Bruce Ladendorf, and Alan Yuile. Occlusions and binocular stereo. *IJCV*, pages 221–226, 1995.

[HHVN90] L. Herault, R. Horaud, F. Veillon, and J.-J. Niez. Symbolic image matching by simulated annealing. In *Proc. 1st BMVC*, pages 319–324, Oxford, England, 1990.

[HS89] R. Horaud and Th. Skordas. Stereo correspondence through feature grouping and maximal cliques. *IEEE Trans. on PAMI*, 11(11):1168–1180, 1989.

[IG98] H. Ishikawa and D. Geiger. Occlusions, discontinuities, and epipolar lines in stereo. In *Proc. 5th ECCV*, pages 232–248, Fribourg, Germany, June 98.

[Jon97] Graeme A. Jones. Constraint, optimization, and hierarchy: Reviewing stereoscopic correspondence of complex features. *IEEE Trans. on PAMI*, 65(1):57–78, January 1997.

[KO94] Takeo Kanade and Masatoshi Okutomi. A stereo matching algorithm with an adaptive window: Theory and experiment. *IEEE Trans. on PAMI*, 16(9):920–932, September 1994.

[Lot96] Jean-Luc Lotti. *Mise en correspondance stéréo par fenêtres adaptatives en imagerie haute résolution.* PhD thesis, Universite de Nice-Sophia Antipolis, France, February 1996.

[LP00] Angeles López and Filiberto Pla. Dealing with segmentation errors in region-based stereo vision. *Pattern Recognition*, 33(8), August 2000.

[LPR01] Angeles López, Filiberto Pla, and José Ribelles. 3d modeling of structured scenes through binocular stereo vision. In *Proc. 12th SCIA*, pages 401–408, Bergen, Norway, June 2001.

[MT89] Suresh B. Marapane and Mohan M. Trivedi. Region-based stereo analysis for robotics applications. *IEEE Trans. on SMC*, 19(6):1447–1464, November 1989.

[Nas92] N. M. Nasrabadi. A stereo vision technique using curve segments and relaxation matching. *IEEE Trans. on PAMI*, 14(5):566–572, May 1992.

[NL89] N. M. Nasrabadi and Y. Liu. Stereo vision correspondence using a multichannel graph matching technique. *IVC*, 7(4):237–245, November 1989.

[OK85] Y. Ohta and T. Kanade. Stereo by intra- and inter-scanline search. *IEEE Trans. on PAMI*, 7:139–155, 1985.

[PCLO00] G. Pajares, J. M. Cruz, and J. A. López-Orozco. Relaxation labeling in stereo image matching. *Pattern Recognition*, 33:53–68, 2000.

[RC98] Sébastien Roy and Ingemar J. Cox. A maximum-flow formulation of the n-camera stereo correspondence problem. In *Proc. 6th ICCV*, pages 492–499, January 1998.

[RD96] L. Robert and R. Deriche. Dense depth map reconstruction: A minimization and regularization approach which preserves discontinuities. In *Proc. 4th ECCV*, April 1996.

[RG91] S. Randriamasy and A. Gagalowicz. Region-based top-down segmentation adapted to stereo matching. In *Proc. IEEE Conf. CVPR*. IEEE Computer Society Press, June 1991.

[RG93] S. Randriamasy and A. Gagalowicz. Direct cooperation between region-based stereo matching and top-down segmentation. In *Proc. ICOM*, 1993.

[SK97] Boaz J. Super and William N. Klarquist. Patch-based stereo in a general binocular geometry. *IEEE Trans. on PAMI*, 19(3):247–253, 1997.

[SS96] D. Scharstein and R. Szeliski. Stereo matching with non-linear diffusion. In *Proc. IEEE Conf. CVPR*, pages 343–350, San Francisco, CA, June 1996.

[SZ99] R. Szeliski and R. Zabih. An experimental comparison of stereo algorithms. In *IWVA*, pages 1–19, September 1999. Kerkyra, Greece.

[Tar96] Jean-Philippe Tarel. Reconstruction globale et robuste de facettes 3D. Rapport de recherche 2813, INRIA, February 1996.

[Ter82] Demetri Terzopoulos. Multi-level reconstruction of visual surfaces: Variational principles and finite element representations. Technical Report A. I. Memo 671, MIT, April 1982.

[Ter86] Demetri Terzopoulos. Image analysis using multigrid relaxation methods. *IEEE Trans. on PAMI*, 8(2):413–424, March 1986.

[TV95] Jean-Philippe Tarel and Jean-Marc Vézien. A generic approach for planar patches stereo reconstruction. In *Proc. SCIA*, pages 1061–1070, Norway, June 1995.

[VSCG89] Laurent Vinet, Peter T. Sander, Laurent Cohen, and André Gagalowicz. Cooperative segmentation and region matching. In *Proc. SCIA*, pages 71–78, Oulu, Finland, June 1989.

[WH97] R.C. Wilson and E.R. Hancock. Structural matching by discrete relaxation. *IEEE Trans. on PAMI*, 19:634–648, June 1997.

[Zha93] Z. Zhang. Le problème de la mise en correspondance: L'état de l'art. Technical Report RR 2146, INRIA, December 1993.

[ZK00] C. Lawrence Zitnick and Takeo Kanade. A cooperative algorithm for stereo matching and occlusion detection. *IEEE Trans. on PAMI*, 22(7):675–684, July 2000.