

Modelado Multirresolución para la Representación de Imágenes y de Objetos 3D

Juan I. Larregui^(1,3), Dana K. Urribarri^(1,3), María Luján Ganuza^(1,3),
Liliana Boscardín⁽²⁾, Graciela Paolini⁽²⁾, Silvia M. Castro^(1,3), Liliana R. Castro⁽²⁾
juanilarregui@gmail.com, {dku,mlg}@cs.uns.edu.ar, {lboscar, gpaolini}@uns.edu.ar,
smc@cs.uns.edu.ar, lcastro@uns.edu.ar

⁽¹⁾Dpto. de Ciencias e Ingeniería de la Computación

⁽²⁾Dpto. de Matemática

⁽³⁾Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Visualización y Computación Gráfica
Avda. Alem 1253 - Universidad Nacional del Sur
Bahía Blanca, Argentina

Resumen

Una representación adecuada de la información visual constituye la base de muchas tareas de procesamiento de imágenes y de volúmenes tales como compresión, filtrado y segmentación, entre otras. En lo que respecta a aplicaciones prácticas, se requieren nuevas representaciones y algoritmos tanto en lo que respecta a representaciones 2D para imágenes como a representaciones 3D para volúmenes. Las características esenciales que buscamos en estos métodos es que tengan fundamentos matemáticos sólidos, algoritmos numéricos robustos, generalidad y uniformidad, de modo tal que los algoritmos básicos sean simples y que capturen la información esencial del objeto a representar mediante una descripción compacta. En este contexto, las representaciones multirresolución han sido consideradas como una alternativa muy atractiva que satisface estos requerimientos. Esto motiva la generación de nuevas formas de representación en las que estamos trabajando actualmente. En este trabajo se presentan las distintas líneas en lo que respecta al modelado de volúmenes mediante la definición de wavelets sobre grillas tetraédricas no anidadas, al filtrado de objetos volumétricos 3D que considera la anisotropía de los mismos y también a

métodos de representación de imágenes mediante curvelets con el objeto de facilitar la segmentación en imágenes biológicas.

Palabras clave: *Modelado Multirresolución, Wavelets, Representaciones Direccionales, Filtrado 3D.*

Contexto

Este trabajo continúa la línea presentada en [8] y se lleva a cabo con investigadores del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Visualización y Computación Gráfica (VyGLab) del Dpto. de Ciencias e Ingeniería de la Computación y del Dpto. de Matemática de la Universidad Nacional del Sur.

La línea de Investigación presentada está inserta en el proyecto acreditado *Representaciones Visuales e Interacciones para el Análisis Visual de Grandes Conjuntos de Datos* (24/N028), dirigido por la Doctora Silvia Castro y financiado por la Secretaría General de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur.

Introducción

Dentro de esta línea de Investigación se está trabajando en el desarrollo de filtros

3D para volúmenes y en representaciones y algoritmos tanto en los que respecta a representaciones 2D para imágenes como a representaciones 3D para volúmenes. Las principales líneas de investigación corresponden al desarrollo de:

- Métodos de modelado de objetos 3D basados en wavelets.
- Métodos de filtrado de objetos 3D.
- Métodos de representación multiresolución de imágenes que capturen la estructura geométrica intrínseca de la información presente en las mismas.

Líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación

A continuación se describen más detalladamente cada una de las principales líneas de investigación mencionadas previamente.

Métodos de modelado de Objetos 3D basados en wavelets. La cantidad y variedad de aplicaciones sobre Internet, por ejemplo, es creciente y los modelos que se manejan son altamente detallados. Esto debe conducir a la generación de representaciones progresivas y jerárquicas que permitan representar modelos generales. A partir de estas representaciones, se debe poder lograr una compresión eficiente para que las mismas puedan ser transmitidas y almacenadas eficientemente.

Las bases de wavelets definidas a través de métodos de subdivisión ([2], [3]) son una herramienta muy atractiva para lograr este tipo de representaciones.

Inicialmente, los métodos para el modelado y la compresión de volúmenes basados en el producto tensorial de wavelets fueron propuestos en *settings* regulares. Esto es adecuado cuando se limita el modelado a un objeto representado mediante una grilla regular. Si el objeto proviene de datos dispersos, su modelado se puede realizar mediante una red tetraédrica, lo que constituye un dominio topológico general para la representación intrínseca de un

volumen. En este caso, se debe contar con wavelets construidas sobre los tetraedros y para ello, es necesario extender el análisis multiresolución para funciones definidas sobre volúmenes. Así extendimos las wavelets a dominios topológicos arbitrarios ([6], [7], [10]); esta extensión, que se basó en las wavelets de Haar, constituyó el primer modelo de volúmenes representados por una red tetraédrica basada en wavelets. Partiendo de una red tetraédrica y usando la subdivisión como base, pudimos construir wavelets sobre dominios volumétricos de topología arbitraria. Este método, a diferencia de la construcción de wavelets sobre superficies topológicas arbitrarias, permite representar el volumen y su interior. Además permite compresión, transmisión progresiva y refinamiento selectivo.

Sin embargo, debido al requerimiento de los espacios anidados para la definición de las wavelets, las construcciones están restringidas a dominios con conectividad de subdivisión, lo que a su vez restringe la clase de redes que pueden procesarse. Debido a que los grandes conjuntos de datos no estructurados provenientes de distintas aplicaciones no poseen esta propiedad, es muy deseable poder contar con wavelets sobre dominios tetraédricos no estructurados, es decir, volúmenes representados con grillas tetraédricas no anidadas.

Esto motivó la construcción de wavelets para representar volúmenes con estas características. Se desarrollaron las wavelets definidas sobre grillas tetraédricas no anidadas que permiten representar funciones definidas sobre una tetraedrización irregular dada. Estas tienen, como aplicación inmediata, la representación de distintos atributos definidos sobre un objeto como pueden ser su color, su densidad, etc.

La idea de las técnicas basadas en wavelets es codificar un conjunto de datos como una aproximación gruesa seguida por una sucesión de coeficientes de detalle que

miden el error entre dos aproximaciones sucesivas. Estos métodos suponen que la malla sobre la cual están definidos los datos puede obtenerse subdividiendo recursivamente la malla de mayor resolución. A partir de ésta, se obtiene una sucesión de mallas anidadas (en términos de la teoría de wavelets, esto equivale a obtener un conjunto de espacios anidados) y un conjunto de detalles.

Las mallas irregulares no pueden obtenerse por medio de una regla de subdivisión recursiva y, por lo tanto, la estructura jerárquica que se necesita para trabajar con ellas es más compleja. En el caso de mallas triangulares irregulares, son ejemplo de este tipo de estructura jerárquica las triangulaciones de Delaunay y las mallas progresivas. Dado que en este caso no es posible aplicar las técnicas tradicionales basadas en wavelets, es necesario introducir un nuevo marco de trabajo: el de las wavelets definidas sobre espacios no anidados ([4], [11], [13]). Este marco de trabajo ya ha sido aplicado al análisis multirresolución de conjuntos de datos definidos sobre mallas triangulares irregulares.

Siguiendo la idea de cómo definir wavelets sobre superficies, definimos las wavelets sobre un volumen representado por una red tetraédrica sin la propiedad de conectividad de subdivisión. Si bien se han definido wavelets sobre superficies 3D ([14], [15], [19]) no había construcciones concretas para representar funciones definidas sobre volúmenes modelados mediante redes tetraédricas con las condiciones mencionadas. Para esto, consideramos funciones constantes a trozos sobre una red tetraédrica sin la propiedad de conectividad de subdivisión y definimos las wavelets correspondientes sobre el bloque constructor básico de la red, es decir el tetraedro [5].

Métodos de filtrado de objetos 3D. Para el filtrado de regiones planas, el filtro de Kuwahara Generalizado utiliza funciones

de peso definidas sobre sectores de un disco que reemplazan a las regiones rectangulares del filtro de Kuwahara original. La respuesta del filtro está definida como la suma pesada de los promedios locales, donde el mayor peso le corresponde a aquellos promedios con menor desviación estándar [16]. El filtro de Kuwahara anisotrópico se construye sobre el concepto de filtro de Kuwahara Generalizado [18] reemplazando las funciones de peso definidas sobre sectores de un disco por funciones de peso definidas sobre sectores de una elipse orientada de acuerdo a las características anisotrópicas de la región delimitada por el filtro. Para ello, el filtro de Kuwahara anisotrópico requiere información acerca de la orientación y de la medida de la anisotropía locales. Ambas pueden deducirse de los autovalores y autovectores de la estructura tensorial suavizada [9]. Debido a esta adaptación, las características direccionales de la imagen no sólo son mejor preservadas sino que también son enfatizadas.

Nosotros proponemos una extensión del filtro de Kuwahara a R^3 de manera tal que las funciones de peso del filtro de Kuwahara conocido sean reemplazadas por funciones de peso definidas sobre volúmenes acotados por elipsoides. Nuestra propuesta permite definir un filtro que considera la orientación y la anisotropía de un objeto volumétrico.

Métodos de representación multirresolución de imágenes que capturen la estructura geométrica intrínseca de la información presente en las mismas. La transformada curvelet es una extensión de la transformada wavelet que tiene como objetivo tratar con los fenómenos que ocurren a lo largo de los bordes curvos en imágenes 2D [12]. Es una generalización de la transformada wavelet diseñada para representar imágenes a diferentes escalas y en diferentes orientaciones (ángulos). Ésta es vista como una pirámide multi-escala con elementos

indexados por parámetros de ubicación, escala y orientación. Las curvelets tienen las propiedades de localización en tiempo-frecuencia de las wavelets pero también presentan un alto grado de direccionalidad y anisotropía; sus singularidades pueden aproximarse adecuadamente con muy pocos coeficientes. En particular, la transformada curvelet discreta es muy eficiente para representar bordes curvos ([1], [12]).

En biometría, es esencial que cualquier método de reconocimiento biométrico permita hallar las regiones de interés (ROIs) que luego serán analizadas para la identificación del animal. En este caso, es necesario identificar los bordes del iris y de la pupila [17]. Los resultados experimentales que hemos obtenido hasta el momento apoyan el hecho de usar la transformada curvelet para realizar la segmentación del ojo bovino, como una alternativa a los métodos de segmentación existentes.

Resultados y Objetivos

Continuando en la línea de los trabajos realizados hasta el momento, se está trabajando en:

- Wavelets definidas sobre grillas tetraédricas no estructuradas.
- Esquemas de subdivisión de grillas tetraédricas.
- Cálculo del error en la aproximación de volúmenes representados mediante grillas tetraédricas no estructuradas.
- Métodos de filtrado 3D que resulten de utilidad en la visualización de volúmenes.
- Esquemas de representación de imágenes que capturen la estructura geométrica intrínseca de la información presente en la misma. Esto permitiría utilizarla como una representación eficiente que haría posible mejorar la eficiencia de distintos métodos de procesamiento de imágenes.

Formación de Recursos Humanos

Las Dras. Liliana y Silvia Castro trabajan en el modelado de Objetos 3D con wavelets desde hace aproximadamente 20 años. La Dra. Liliana Boscardín y la Dra. Dana Urribarri trabajan principalmente en modelos de objetos 3D con wavelets y la Mg. Graciela Paolini en filtros de objetos 3D. En los últimos años, la Ing. Ma. Luján Ganuza y el Ing. Juan Ignacio Larregui, se han incorporado a la línea de investigación de búsqueda de esquemas de representación de imágenes que puedan capturar la estructura geométrica en las imágenes.

Tesis en Desarrollo

Tesis de Doctorado en Ciencias de la Computación

- Juan Ignacio Larregui. Tema: *Reconstrucción 3D en tiempo real mediante dispositivos móviles.* Dirección: Dra. Silvia Castro.

Cursos de Pre/Post grado relacionados con el tema de la línea de Investigación dictados por integrantes del Grupo de Trabajo

Cursos de Pregrado

- Wavelets de primera generación: Una introducción. Materia optativa para los estudiantes de la Licenciatura en Matemática. Liliana Castro. Dto. de Matemática. UNS.
- Visualización. Materia optativa para los estudiantes de la Licenciatura en Cs. de la Computación y de la Ingeniería en Sistemas de Computación. UNS
- Procesamiento de Imágenes. Materia optativa para los estudiantes de la Ingeniería en Sistemas de Computación. UNS

Cursos de Posgrado

- Introducción a la teoría de wavelets y sus aplicaciones. Liliana Castro. Dto. de Matemática. UNS.

- Seminario: Aplicaciones de wavelets Liliana Castro. Dto. de Matemática. UNS.
- Procesamiento y Análisis de Imágenes. Silvia Castro, Dpto de Cs e Ing de la Computación, UNS.
- Introducción al Análisis Funcional y a la Teoría de Operadores. Liliana Castro. Dto. de Matemática.

Referencias

[1] AlZubi, Sh., Islam, N., Abbod, M., *Multiresolution analysis using wavelet, ridgelet, and curvelet transforms for medical image segmentation*. Journal of Biomedical Imaging, 2011:4, 2011.

[2] Bertram, M, Duchaineau, M.A., Hamann, B., Joy, K.I., *Bicubic lifted subdivision-surface wavelets for large-scale isosurface representation and visualization*, Proceedings of Visualization 2000, Salt Lake City, Utah, IEEE, Oct. 2000, to appear.

[3] Bey, J., Tetrahedral grid refinement. Computing, Vol. 55(4), 355-378, 1995.

[4] Bonneau, G., Hahmann, S., Nielson, G.: *B-Lac wavelets: a multiresolution analysis with non nested spaces*. IEEE Visualization' 96, 43–48, 1996.

[5] Boscardín, L., *Bases de wavelets para la representación de funciones definidas sobre volúmenes*. Tesis para optar al grado de Doctora en Matemática, Dpto. de Matemática, UNS, Diciembre 2013.

[6] Boscardín, L., Castro, L., Castro, S., *Haar-like wavelets defined over tetrahedral grid refinement*, in IEEE XX International Conference of the Chilean Computer Science Society. Santiago de Chile, Chile, 2000.

[7] Boscardín, L., Castro, L., Castro, S., *Wavelets definidas sobre grillas tetraédricas*, CACiC 2000, Ushuaia, Argentina, 2000.

[8] Boscardín, L., Paolini, G., Salgado, D., Castro, S., Castro, L., *Nuevas Alternativas para el Modelado de Volúmenes*, WICC 2010.

[9] Brox, T., Boomgaard, R., Lauze, F.; Weijer, J., Weickert, J., MrÁzek, P.,

Konprobst, P., *Adaptive structure tensors and their Applications*. Visualization and Processing of Tensor Fields, 2006, 2, , pp. 17-47.

[10] Castro, S., Castro, L., De Giusti, A., *Multiresolution volume rendering*, in IEEE XIX International Conference of the Chilean Computer Science Society, Talca, Chile, 1999.

[11] Daubechies, I., Sweldens, W., *Factoring wavelet transforms into lifting steps*, Journal of Fourier Analysis and Applications, Vol. 4, No. 3, CRC Press Inc., 1998, pp. 245- 267.

[12] Do, M.N., *Directional Multiresolution Image Representation*, Thèse N° 2500 (2001), Docteur ès Sciences, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.

[13] Gerussi, A., *Analyse Multirésolution Non Emboîtée. Applications à la visualisation Scientifique*. Thèse de Docteur de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, 2000.

[14] Girardi, M., Sweldens, W., *A new class of unbalanced Haar wavelets that form an unconditional basis for L_p on general measure spaces*. J. Fourier Anal. Appl, Vol. 3, pp.457-474, 1997.

[15] Kutyniok, G., Lemvig, J., Lim, W.Q.: *Optimal sparse approximations of 3d functions by compactly supported shearlet frames*. SIAM J. Math. Anal 44, 2962–3017 (2012)

[16] Kyprianidis, J., Semmo, A., Kang, H., Döllner, J., *Anisotropic Kuwahara Filtering with Polynomial Weighting Functions*, EG UK Theory and Practice of Computer Graphics (2010).

[17] Larregui, J.I., Espinosa, J., Ganuza, M.L., Castro, S.M., *Biometric iris identification in bovines*. CACiC 2014.

[18] Papari, G., Petrov, N., Campasi, P., *Artistic edge and corner enhancing smoothing*, IEEE Transactions on Image Processing 16, 10 (2007), 2449-2462

[19] Schröder, P., Sweldens, W., *Spherical wavelets: Efficiently representing functions on the sphere*. ACM Proceedings of SIGGRAPH'95 pp. 161–172 (1995).