

Recuperación de contenidos visuales en imágenes médicas

María Cortina

M. Cortina

Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato

M. Ramos., J. Quintanilla, J. Daza, (eds.) .Aplicaciones TIC, Tópicos Selectos de Ingeniería©ECORFAN-Bolivia. Sucre, Bolivia, 2014.

Abstract

The use of medical imaging in the diagnosis of diseases is a common practice by which you can diagnose and detect conditions that would otherwise be impossible. The increasing capabilities of computers and advances in acquisition techniques medical imaging has allowed hospitals and health centers, have today with digital databases of different ailments. These databases must be labeled and classified, so they can be consulted by specialists when needed. The search for efficient methods of consultation has led the scientific community to implement recovery techniques visual information, which allow you to tag, sort and view images automatically. The aim of this paper is to present a review of the recovery systems implemented visual contents used for medical images

7 Introducción

El aumento de las capacidades de los ordenadores y los avances en las técnicas de adquisición de imagen médica ha permitido que hospitales y centros de salud, cuenten hoy en día con bases de datos digitales. Las bases de datos digitales presentan una serie de ventajas frente a las guardadas en papel. Estas ventajas son, la mejora de información pictórica para la posterior interpretación humana y una gran capacidad de almacenamiento en espacio físico reducido.

El proceso de clasificación y etiquetados típicamente es realizado por un especialista. El especialista etiqueta mediante texto cada una de las imágenes, siendo una tarea tediosa, que proporciona resultados imprecisos y subjetivos, además, existen características visuales que son imposibles de describir en lenguaje natural. Otro problema de la consulta basada en texto es el idioma, ya que la imagen buscada podría estar etiquetada en otro idioma. Al aumentar la cantidad de imágenes esta práctica se ha vuelto más complicada y costosa. Se vio entonces la necesidad de implementar técnicas que hicieran más eficiente la clasificación, el almacenamiento y la consulta de las imágenes médicas.

Para superar las limitaciones de los sistemas de búsquedas por texto la comunidad científica ha implementado sistemas de recuperación de información visual, que no necesitan un etiquetado previo. Estos sistemas no necesitan la descripción de la imagen, se basan características visuales que se extraen a partir de la imagen de manera automática. Estos sistemas se denominan como sistemas de recuperación de imágenes basada en contenidos (CBIR de sus siglas en inglés Content Based Image Retrieval) y pueden ser usados independientemente o como complemento de los sistemas de búsqueda por texto.

En objetivo de este artículo es realizar una revisión de los sistemas CBIR usados en aplicaciones médicas. En la sección II se introduce la estructura general de un sistema CBIR. La sección III, mencionan las diferentes técnicas de extracción de características y criterios de similitud utilizados en aplicaciones médicas. En la última sección se dan las conclusiones de este trabajo.

7.1 Recuperación de Imágenes Basado en Contenidos.

La recuperación de imágenes es una de las áreas de investigación más prolíficas, existiendo gran cantidad de publicaciones desde la década de 1970, involucrando diferentes áreas de conocimiento como la gestión de bases de datos, procesamiento de señal, reconocimiento de patrones, la visión por computador. La comunidad científica ha estudiado la recuperación de las imágenes desde dos paradigmas distintos: la recuperación basada en texto y la recuperación basada en contenido [Rui1999].

La recuperación basada en texto requiere una etapa previa de categorización de las imágenes, durante la cual se agrega texto que describe la imagen. Este paradigma tiene problemas de escalabilidad, ya que requiere una gran cantidad de tiempo y esfuerzo para realizar anotaciones manuales. Además existen imprecisiones asociadas a la subjetividad humana, esto es, el contenido de una misma imagen puede ser percibido y descrito de manera distinta por dos personas, generando anotaciones imprecisas que hagan imposible recuperar la imagen.

Hasta finales de la década de los 80 la recuperación por texto era el paradigma elegido para la recuperación de imágenes [Chang1979, Chang1980], al aumentar el tamaño de las colecciones de imágenes, la recuperación por texto fue volviéndose más complicada e ineficiente, dando paso a la recuperación basada en contenidos a inicios de la década de los 90.

En la recuperación basada en contenidos busca superar las dificultades que presenta la recuperación por texto. En lugar de realizar anotaciones manuales, las imágenes son recuperadas analizando los contenidos reales de la imagen. El término contenido se refiere a colores, forma, textura o cualquier información que se derive de la propia imagen. Este tipo de recuperación permite eliminar la subjetividad humana que implicaba la recuperación por texto.

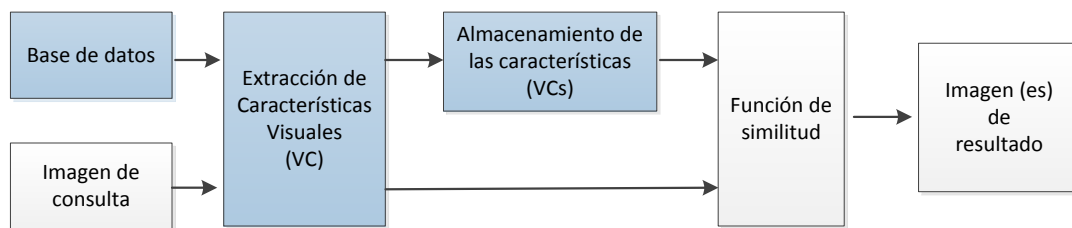
Un sistema CBIR realiza la consulta-mediante-ejemplo, donde se presenta al sistema una imagen que contenga las características visuales que se desea buscar. Los componentes principales de un sistema CBIR son: la extracción de características y la evaluación de similitudes [Akgül2011].

En la extracción de características se encarga de representar la información visual contenida en los píxeles de forma numérica. Estas representaciones se diseñadas para codificar las propiedades/descriptores de color y textura de la imagen, la disposición espacial de los objetos y características de las formas presentes en la imagen. Por otro lado, las características pueden ser globales o locales. Las características globales pueden referirse al color o textura de la imagen completa. Las características locales están definidas en áreas específicas y requieren que la imagen sea segmentada en regiones.

La evaluación de similitudes, es la comparación mediante análisis matemático de los descriptores de la imagen de búsqueda y las imágenes en la base de datos. Internamente los sistemas CBIR ordenan decrecientemente las imágenes de acuerdo a su similitud, proporcionando al usuario la imagen(es) que satisfacen la búsqueda.

La figura 1 muestra el diagrama general de un sistema CBIR. Cuando el usuario realiza una búsqueda, el sistema extrae características de los elementos presentes en las imágenes (forma, tamaño, localización) y las convierte internamente en Vectores de Características (VC), que son comparados con los VC almacenados (evaluación de similitud) y finalmente la imagen(es) más similar es presentada al usuario como respuesta a su consulta. Para mejorar los resultados de consulta, algunos sistemas CBIR incorporan una retroalimentación [Saroj2012].

Figura 7. Diagrama de un sistema CBIR.



En el ámbito de los sistemas CBIR es difícil comparar dos sistemas de recuperación. La evaluación de los sistemas CBIR se realiza mediante métricas que describen la cantidad de aciertos en cada búsqueda, como por ejemplo: precisión, recall.

$$\text{Precisión} = \frac{\text{Núm. de objetos relevantes recuperados}}{\text{Núm. objetos recuperados}} \quad (1)$$

$$\text{Recall} = \frac{\text{Núm. de objetos relevantes recuperados}}{\text{Núm. de objetos relevantes}} \quad (2)$$

Algunos de los sistemas CBIR para imágenes de propósito general conocidos son: QBIC[Faloutsos1994, Flickner1995], VIR Image Engine [Gupta1997], CANDID [Kelly1994], NETRA [Ma1997], Photobook [Picard1993], VisualSEEk [Smith1996], WBIIS [Wang1998], Blobworld [Carson1999], Excalibur que posteriormente se convertiría en RetrievalWare [Papad], ARTISAN, iMATCH [Talbar2009], QuickLook, GIFT, entre otros.

7.2 Recuperación de imágenes médicas

Los sistemas CBIR han sido exitosamente utilizados en diferentes campos (bibliotecas digitales, identificación de caras, compras en línea, identificación de huellas, etc.), lo que llevo a la comunidad científica a investigar e implementar estos sistemas en aplicaciones médicas [Shyu1999, Antani2004]. Miles de imágenes médicas se guardan en bases de datos todos los días, la necesidad de algoritmos eficientes, capaces de manejar este tipo de datos de manera no supervisada es cada vez mayor.

El objetivo de los sistemas de información médica es entregar la información adecuada en el momento que se necesita, con el fin de mejorar la eficiencia de los procesos de atención. Esta meta se consigue buscando el nombre del paciente o algún identificador definido para ello (estándar DICOM). La toma de decisiones para el diagnostico del padecimiento puede verse enriquecida mediante el uso de imágenes de la misma modalidad, de la misma región anatómica o del mismo padecimiento [Güld2002]. Estos sistemas se han desarrollado principalmente para el uso en los sistemas de comunicación y archivo de imágenes (PACS), la gestión de bases de datos de salud, el diagnóstico asistido por ordenador, la investigación médica, la educación y la formación [Pourg2008, Darsana2014].

La aplicación de los sistemas CBIR en técnicas de apoyo a la decisión clínica, como el razonamiento basado en casos o basados en evidencia médica es un campo abierto que puede apoyar el diagnostico de algunos padecimientos [Bui2002, Boisse2003].

Es posible que los sistemas de visión por ordenador no sean capaces de sustituir los métodos basados en texto, pero son una buena opción para complementar búsquedas en función de las características de visuales. Por esta razón se han propuesto sistemas híbridos que permiten hacer búsquedas por texto y/o por contenidos visuales [Müller2004, Long2009].

En la literatura se encuentran propuesta de sistemas CBIR para diferentes tipos de imágenes médica, como: mamografías [Wei2006, Koodi2007], tomografía computarizada [Shyu1999, Gletsos2003, Wang2012, Darsana2014], rayo X [Antani2004, Pourg2008,], ultrasonido [Schlomo2006], resonancia magnética [Ramamurthy2012], dermatología [Bunte2011], oftalmología [Obero2013].

Los sistemas CBIR para aplicaciones médicas tienen la misma estructura que un sistema de aplicación general (ver Figura 1), siendo parte fundamental la extracción de las características visuales y la evaluación de las similitudes.

Características Visuales

Color. Es una de las características más ampliamente usadas en la recuperación de imágenes, debido a que el sistema de visión humana es más sensible a la información de color [Faloutsos1994, Müller2004, Talbar2009]. En el campo médico, la verdadera caracterización basada en color es aplicable sólo cuando se utilizan fotografías en color para el diagnóstico, tales como en oftalmología, patología, y dermatología, o cuando el color se utiliza para escalar las velocidades de flujo o escalas de intensidad como en cardiología nuclear [Bunte2011, Obero2013]. Sin embargo para la mayoría de imágenes médicas, las características de color no serán útiles en la recuperación de la imagen ya que muchas de ellas son en escala de gris (rayo-x, tomografía computarizada, ultrasonido).

Espacio de color. Los autores mencionan la importancia de elegir el espacio de color adecuado dependiendo del tipo de imagen que se desea recuperar y de los objetos que nos interesen en la imagen. El espacio RGB se utiliza rara vez para la búsqueda y consulta de imágenes médicas, debido a que no corresponde con percepción humana. Los espacios utilizados en imágenes médicas son: HSV (Hue - tono, Saturation - Saturación, Value -valor), nRGB, XYZ, CIE Lab, LUV, LCH, TSL, YrCrCb. La elección adecuada del espacio de color mejora el desempeño de los sistemas CBIR [Bunte2011].

Momentos de color. Los momentos de color fueron utilizados con éxito en muchos sistemas de recuperación [Faloutsos1994, Flickner1995], permitiendo representar la información de la distribución del color en la imagen. Los momentos de color son: (i) primer orden, captura la media del color, (ii) Segundo orden, captura la desviación estándar, (iii) tercer orden, captura la simetría [Nandagopalan2008]. Los momentos de color se extraen en cada uno de los planos del espacio de color, siendo útiles en aplicaciones donde las imágenes médicas están en escala de gris [Darsana2014].

Histograma. La representación de la característica de color/monocromática puede realizarse mediante el histograma (locales o globales), debido a su sencillez y eficiencia computacional. El histograma es robusto cuando la imagen sufre translaciones o rotaciones y solo cuando ocurren pequeñas variaciones de escala. El histograma no describe la posición espacial de los píxeles, por esta razón en algunas aplicaciones los autores dividen la imagen en bloques y calculan el histograma para cada bloque.

Textura. La textura puede definirse como el atributo que representa la disposición espacial de los niveles de gris de los píxeles en una región. En el ámbito médico, los descriptores de textura son especialmente importantes, ya que pueden reflejar los detalles finos contenidos en una estructura de imagen como por ejemplo: quistes y nódulos sólidos que general tienen características uniformes de densidad interna o lesiones más complejas tienen características heterogéneas [Akgül2011].

Los diferentes métodos de extracción de texturas pueden extraer información importante que no es fácilmente visible para el humano. Hay dos tipos básicos de descriptores de texturas: modelos estadísticos y modelos basados en transformaciones [Ranjidha2013]. Los primeros explotan la dependencia espacial de los niveles de gris, como: la matriz de co-ocurrencia, los descriptores Haralick (contraste, energía, entropía, homogeneidad, etc.), los fractales, características Tamura [Wei2006, Schlomo2006, Ramamurthy2012, Wang2012]. El segundo tipo se basa en la frecuencia espacial y el dominio transformado para representar la textura, en aplicaciones médicas se han aplicado, los filtros de Gabor [Lam2007], la transformada Wavelet [Youssi2010], la transformada de Fourier [Nandagopalan2008], los campos aleatorios de Markov. La información de la textura GCM, para la recuperación de imágenes de micro-calcificaciones [Wei2006] En Obero et al. [Obero2013] utilizan imágenes en escala de gris para recuperar imágenes de retinopatía.

Forma. La información de la forma es uno de los factores que puede describir una enfermedad determinada / o lesión y permitir la comprensión de su evolución. En [Xiaoning2010] se menciona que la forma de los órganos suelen ser indicativos de anomalías y padecimientos, por lo que las consultas por similitud de forma son importantes en las bases de datos de imágenes médicas. En [Ranjidha2013], los autores muestran que es posible recuperar imágenes de diferentes órganos (pulmones, hígado, riñones, cerebro, etc.), mediante su forma (bordes).

Existen dos tipos de enfoques utilizados en la representación de la forma. El primero basado en contorno, que consideran la información de los límites de los objetos. El segundo basado en regiones, que considera todos los píxeles dentro de una región delimitada.

El método basado en la forma del contorno puede ser representado por momentos invariantes de Fourier [Youssi2010], código de cadena, la excentricidad, la firma de la forma.

La mayoría de los sistemas CBIR médicos actuales no explotan todo el potencial de la información de la forma, generalmente utilizan texturas para describir la forma de manera global [Akgül2011]. El problema de la segmentación puede ser visto como el principal obstáculo hacia el uso de métodos más elaborados para el análisis de la forma. En las imágenes médicas los objetos de interés, tales como las estructuras anatómicas o lesiones están incrustadas en fondos complejos y arbitrarios, en cuyo caso la segmentación robusta y automática es desafío.

Segmentación. La segmentación es un paso muy importante en los sistemas CBIR que describen el contenido de la imagen a través de regiones de interés [Bunte2011]. El objetivo es identificar regiones u objetos semánticamente significativos.

En la bibliografía se encuentran varios métodos de recuperación que utilizan segmentación manual para mejorar la recuperación, sin embargo a pesar de sus ventajas, la segmentación manual es una tarea tediosa y limita el uso de los sistemas CBIR [Gletsos2003, Antani2004, Xiaoning2010]. Esto ha llevado al desarrollo de métodos semiautomáticos y automáticos que permitan extraer las regiones de interés.

En los métodos semiautomáticos, el usuario proporciona una segmentación inicial, que marca los límites. La segmentación es iterativamente y el usuario puede intervenir entre las interacciones para corregir los límites si se alejan de la solución deseada. Los métodos de segmentación automáticos [Koodi2007]

Selección de características.

Un conjunto de características de alta dimensión, puede aumentar la complejidad y el costo computacional de los sistemas CBIR. Para reducir la dimensión de un conjunto de características se ha utilizado el análisis de componentes principales (PCA –Principal Component Analysis), esto permite eliminar datos redundantes, representando mejor la información esencial [Wei2006].

Es necesario tener en cuenta que existe un compromiso entre la reducción de la dimensión y la integridad de la información extraída. La reducción del conjunto de características, puede aumentar la velocidad de recuperación, pero información importante puede ser perdida en el proceso

Función de similitud.

Uno de los mayores retos en cualquier sistema CBIR es cómo definir una medida adecuada para apreciar la similitud que se utilizará para la indexación de la base de datos y / o clasificación basada en la similitud de las imágenes recuperadas con respecto a la consulta. Uno de los métodos más usados es la distancia entre VC, debido a que su implementación es sencilla. Algunos autores utilizan la combinación de varias medidas de similitud en sus sistemas. Las medidas de similitud usadas en estos sistemas son las distancias: Euclidea, Manhattan, Chevychev, Minkowski [Lam2007, Darsana2014]. Para comparar los VC la similitud entre histogramas algunos autores utilizan el estadístico de Chi-cuadrada y la divergencia de Jeffrey [Youssi2010].

Otros autores han propuesto otros métodos que miden la similitud en términos de información de la imagen, usando medidas de similitud basadas en la clasificación de las imágenes. Mediante un proceso de clasificación se asignan etiquetas a las imágenes. El clasificador sirve como una herramienta de anotación automática de imágenes médicas, que se utiliza para recuperar imágenes similares. Entre estos métodos podemos mencionar: SVM [Ranjidha2013], K-means [Ramamurthy2012, Obero2013], redes neuronales artificiales [Gletsos2003, Koodi2007, Pourg2008], Fuzzy C-means [Darsana2014].

Relevancia de la retroalimentación

Esta técnica se propone como una técnica prometedora para llenar el vacío semántico en los sistemas CBIR médicos. Esto se refiere a la integración de alto nivel de conocimiento experto del médico en el proceso de recuperación mediante la adquisición de juicios de relevancia con respecto a un conjunto de resultados [Keysers2003, Rahman2007]. El usuario identifica los ejemplos positivos y relevantes a la consulta, información que es proporcionada al sistema CBIR. En un proceso interno y mediante un algoritmo de aprendizaje el sistema devuelve los resultados refinados.

Evaluación

La evaluación de los sistemas CBIR con aplicaciones médicas comúnmente se realiza con la sensibilidad, la especificidad; estos valores también pueden ser representados en una curva ROC, que contiene mucha más información [Youssi2010].

$$\text{Sensibilidad} = \frac{\text{Objetos positivos clasificados como positivos}}{\text{Total de objetos positivos}} \quad (3)$$

$$\text{Especificidad} = \frac{\text{Objetos negativos clasificados como negativos}}{\text{Total de objetos negativos}} \quad (4)$$

Es común que utilicen medidas de evaluación típicas de los sistemas CBIR como precisión (Ec.1) y recall (Ec.2). Otro parámetro que pocas veces se menciona es la velocidad del sistema, la velocidad es muy importante para un sistema interactivo.

7.3 Conclusiones.

El objetivo de las bases de datos de imágenes médicas es proporcionar un medio eficaz para organizar, buscar, y la indexación de grandes colecciones de imágenes médicas. Para lograr este objetivo es necesario diseñar sistemas inteligentes que permitan extraer y reconocer el complejo contenido de las imágenes médicas.

Los sistemas CBIR son un enfoque prometedor para lograr este objetivo. Debido a la variedad y complejidad de las imágenes médicas es impensable tener un sistema CBIR único, es necesario que cada sistema sea diseñado de acuerdo a las necesidades específicas del usuario. La gestión adecuada de las bases de datos medicas, acompañado de mecanismos de recuperación inteligente, permitiría el uso en la práctica médica y en la formación de los nuevos médicos.

7.4 Referencias

- [Chang1979] Chang, N. S. , Fu, K. S. (1979),“Relational Database System for Images, Technical Report TR-EE 79-28, Purdue University, May 1979.
- [Chang1980] Chang, N. S.; Fu, K. S.(1980),“Query-by pictorial-example”,IEEE Trans. on Software Engineering, vol.6, No.6.
- [Picard1993] Picard, R.W, Kabir, T., (1993), "Finding similar patterns in large image databases," IEEE ICASSP, Minneapolis, vol. V., pp. 161-64.
- [Faloutsos1994] Faloutsos, C.; Barber, R.; Flickner, M.; Hafner, J.; Niblack, W.; Petkovic, D.; Equitz, W.; (1994) "Efficient and effective querying by image content", Journal of Intelligent Information Systems: Integrating Artificial Intelligence and Database Technologies, vol. 3, no. 3-4, pp. 231-62, July 1994.
- [Kelly1994] Kelly, P. M.; Cannon, T.M.(1994), "CANDID: comparison algorithm for navigating digital image databases," Scientific and Statistical Database Management, 1994. Proceedings Seventh International Working Conference on , pp.252-258, 28-30 Sep 1994.
- [Flickner1995] Flickner, M.; Sawhney, H.; Niblack, W.; Ashley, J.; Qian Huang; Dom, B.; Gorkani, M.; Hafner, J.; Lee, D.; Petkovic, D.; Steele, D.; Yanker, P., (1995) "Query by image and video content: the QBIC system," Computer , vol. 28, no. 9, pp. 2-32.
- [Smith1996] Smith J.R.; Chang, S.F.(1996), “VisualSEEK: A Fully Automated Content-Based Image Query System,” Proc. ACM Multimedia, pp. 87-98, Nov.1996.
- [Gupta1997] Gupta, A., Jain, R., (1997) "Visual information retrieval," Comm. Assoc. Comp. Mach., Vol. 40, No. 5, pp. 70-79, May 1997.
- [Ma1997] Ma, W.Y.; Manjunath, B. (1997),“ Netra: a toolbox for navigating large image databases”, Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, 1997, pp. 568–571.
- [Rubner1997] Rubner, Y., Guibas, L. J., Tomasi, C. (1997),"The Earth Mover's Distance, Multi-Dimensional Scaling, and Color-Based Image Retrieval", Proceedings of the ARPA Image Understanding Workshop, pp. 661-668, New Orleans, LA, May 1997.
- [Wang1998] Wang, J.Z.,Wiederhold, G., Firschein O., Sha, X.W. (1998), "Content-based image indexing and searching using Daubechies' wavelets," International Journal of Digital Libraries, vol. 1, no. 4, pp. 311-328.
- [Rui1999] Rui ,Y.; Huang Thomas S.(1999), “Image retrieval: current techniques, promising directions and open issues”, Journal of visual communication and image representation; vol.10, pp. 39-62,1999
- [Carson1999] Carson, C., Thomas, M., Belongie, S., Hellerstein, J.M., Malik, J. (1999) "Blobworld: A system for region-based image indexing and retrieval," Third Int. Conf. on Visual Information Systems, June 1999.
- [Shyu1999] Shyu, C. , Brodley, C., Kak, A., Kosaka, A., Aisen, A., Broderick, L. (1999) “ASSERT: a physician-in-the-loop content-based image retrieval system for HRCT image databases” Comput Vis Image Understanding, 75 (1) (1999), pp. 111–132

- [Bui2002] Bui, A.A.T., Taira, R.K., Dionision, J.D.N, Aberle, D.R., El-Saden, S., Kangarloo, H.(2002), Evidence-based radiology, *Acad. Radiol.* Vol. 9,No.6, pp. 662—669.
- [Güld 2002] M.O. Güld, M. Kohnen, D. Keyzers, H. Schubert, B.B. Wein, J. Bredno, T.M. Lehmann (2002), “Quality of DICOM header information for image categorization”, in: *Proceedings of the International Symposium on Medical Imaging*, vol. 4685, San Diego, CA, USA, pp. 280—287.
- [Horsch2003] A. Horsch, R. Thurmayr, How to identify and assess tasks and challenges of medical image processing, in: *Proceedings of the Medical Informatics Europe Conference (MIE2003)*, St. Malo, France, 2003
- [Boissel2003] Boissel, J.P., Cucherat, M., Amsallem, E., Nony, P., Fardeheb, M., Manzi, W., Haugh, M.C.(2003),” Getting evidence to prescribers and patients or how to make EBM a reality”, in: *Proceedings of the Medical Informatics Europe Conference (MIE 2003)*, St. Malo, France, 2003.
- [Keyzers2003] Keyzers D, et al. Statistical framework for model-based image retrieval in medical applications. *J Electron Imaging.* 2003, Vol.12, No.1, pp. 59–68.
- [Gletsos2003] Gletsos, M.; Mougiakakou, S.G.; Matsopoulos, G.K.; Nikita, K.S.; Nikita, A.S.; Kelekis, D. (2003), "A computer-aided diagnostic system to characterize CT focal liver lesions: design and optimization of a neural network classifier," *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on* , vol.7, no.3, pp.153,162, Sept. 2003
- [Müller2004] Müller, Henning, Michoux, Nicolas, Bandon, David, Geissbuhler, Antoine (2004), “A review of content-based image retrieval systems in medical applications—clinical benefits and future directions”, *International Journal of Medical Informatics*, Volume 73, Issue 1, February 2004, pp. 1-23.
- [Antani2004] Antani, S.; Lee D.J.; Long, L. R; Thoma G.R. (2004)“Evaluation of Shape Similarity measurement Methods for Spine X-ray Images”, *Journal of visual communication and image representation*, Vol. 15, No.3, pp. 285-302.
- [Schlomo2006] Schlomo V. Aschkenasy, Christian Jansen, Remo Osterwalder, André Linka, Michael Unser, Stephan Marsch, Patrick Hunziker (2006), “Unsupervised image classification of medical ultrasound data by multiresolution elastic registration”, *Ultrasound in Medicine & Biology*, Volume 32, Issue 7, July 2006, pp. 1047-1054.
- [Lam2007] Lam M, Disney T, Pham M, Raicu D, Furst J, Susomboon R: Content-based image retrieval for pulmonary computed tomography nodule images. In *Proceedings of SPIE 6516*, 2007 (March)
- [Koodi2007] Koodi Kinoshita, S.; Mazzoncini de Azevedo-Marques, P.; Rodrigues Pereira, R.; Heisinger Rodrigues, J.A.; Mandayam Rangayyan, R., “Content-based Retrieval of Mammograms Using Visual Features Related to Breast Density Patterns”, *Journal of Digital Imaging*, vol. 20, no. 2 , pp.172–190. Jun 2007
- [Rahman2007] Rahman M, Bhattacharya P, Desai BC. A framework for medical image retrieval using machine learning and statistical similarity matching techniques with relevance feedback. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.*2007;11(1):58–69
- [Wei2006] C.-H. Wei, C.-T. Li, R. Wilson, ”A content-based approach to medical image database retrieval” *Database Modeling for Industrial Data Management: Emerging Technologies and Applications*, Idea Group Publishing (2005) pp.258-291.

- [Nandagopalan2008] Nandagopalan, S., Adiga, D.B.S., Deepak, N. (2008), "A Universal Model for Content Based Image Retrieval", World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 2, pp. 580-583.
- [Long2009] Long L.R., Antani S, Deserno, T.M., Thoma, G.R. (2009), "Content-Based Image Retrieval in Medicine: Retrospective Assessment, State of the Art, and Future Directions" International Journal Healthc Inf Syst Inform. 2009 January 1; Vol. 4, No. 1, pp. 1–16.
- [Talbar2009] Talbar, S.N.; Varma, S.L., (2009), "iMATCH: Image Matching and Retrieval for Digital Image Libraries," Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET), 2009 2nd International Conference on , pp.196-201.
- [Youssi2010] Youssi, A.A., Darwish, A.A., Mohamed R.A.(2010), "Content based medical image retrieval based on pyramid structure wavelet " International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.10 No.3, pp.157-164.
- [Akgül2011]Akgül C.B.; Rubin,D.L.; Napel, S.; Beaulieu, C.F.; Greenspan, H.; Acar, B. (2011) "Content-Based Image Retrieval in Radiology: Current Status and Future Directions", Journal of Digital Imaging. Apr 2011, Vol. 24, No. 2, pp. 208–222.
- [Bunte2011] Bunte, K., Biehl, M., Jonkman, M.F., Petkov, N.(2011), "Learning effective color features for content based image retrieval in dermatology", Pattern Recognition, Vol. 44, No. 9, September 2011, pp. 1892-1902.
- [Wang2012] Wang Mingquan; Cai Guohua; Zhang Shi, "Research on medical image retrieval based on texture feature," Signal Processing, Communication and Computing (ICSPCC), 2012 IEEE International Conference on, pp. 51,54, 12-15 Aug. 2012
- [Ramamurthy2012] Ramamurthy, B., Chandran, K.R. (2012), "Content Based Medical Image Retrieval with Texture Content Using Gray Level Co-occurrence Matrix and K-Means Clustering Algorithms", Journal of Computer Science, Vol. 8, No. 7, pp. 1070-1076.
- [Saroj2012] Saroj A Shambharkar and Shubhangi C. Tirpude (2012), "A Comparative Study on Retrieved Images by Content Based Image Retrieval System based on Binary Tree, Color, Texture and Canny Edge Detection Approach" International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA), pp. 47-51.
- [Ranjidha2013] Ranjidha A., Ramesh Kumar A., Saranya M.(2013), "Survey on medical image retrieval based on shape features and relevance vector machine classification" International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS). Vol.2, No.3, pp. 333-339.
- [Ponciano2013] Ponciano-Silva, M.; Souza, J.P.; Bugatti, P.H.; Bedo, M.V.N.; Kaster, D.S.; Braga, R.T.V.; Bellucci, A.D.; Azevedo-Marques, P.M.; Traina, C.; Traina, A.J.M. (2013), "Does a CBIR system really impact decisions of physicians in a clinical environment?", Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2013 IEEE 26th International Symposium on , pp. 41-46, 20-22 June 2013.
- [Darsana2014] Darsana, B., Jagajothi, G. (2014) "DICOM Image Retrieval Based on Neural Network Classification", International Journal of Computer Science and Telecommunications, Vol. 5, No.3, pp. 21-26.
- [Papad] Papadopoulos A.; Van Winkle J; "Retrieval Ware 8, The knowledge Discovery Platform", A CONVERA technical overview http://www.xinexus.ch/brochures/WP_RetrievalWare.pdf (última consulta: 20/05/2014)