

Segmentación de imágenes para el análisis de lesiones en la piel: un estudio

Juan García y Salvador Venegas

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey,
Campus Estado de México, México
{A00465790, svenegas}@itesm.mx

Resumen Los recientes avances en visión computacional y en segmentación de imágenes han hecho posible ayudar al diagnóstico médico para una evaluación más precisa de los pacientes. Tal es el caso de las condiciones cutáneas en las que las lesiones de la piel constituyen un indicio visual para el diagnóstico y tratamiento. Por lo tanto, el problema de la segmentación de lesiones en la piel a partir de imágenes adquiridas tanto tradicionalmente como por medio de equipos especiales se ha convertido en un tema de investigación interesante. En este trabajo, los enfoques más comunes y eficaces para atacar dicho problema se presentan de una manera organizada con el fin de identificar sus características y provocar la reflexión sobre nuevas formas de aplicar, combinar o ampliar los métodos previamente explorados.

Palabras clave: visión computacional, segmentación de imágenes, diagnóstico médico, lesiones en la piel, estudio.

1. Introducción

Gracias a los constantes avances en el campo, la visión por ordenador ha hecho posible atacar ciertos problemas que antes eran muy difíciles debido a limitaciones de recursos computacionales. Un área que se ha beneficiado particularmente de esto es la medicina.

Muchas condiciones cutáneas se diagnostican mediante el examen visual de la zona afectada del cuerpo, ya sea directamente (por ejemplo, con las lesiones de piel tales como el melanoma) o indirectamente a través de imágenes obtenidas por una dermatoscopia o cámara térmica (quemaduras).

Aunque los criterios para el diagnóstico de enfermedades suelen estar bien establecidos, puede ser difícil (incluso para especialistas bien entrenados) detectar con precisión las anomalías con un buen porcentaje de certeza que es por lo general alrededor del 80 % en adelante. Por desgracia, los especialistas para algunas enfermedades y condiciones son simplemente insuficientes incluso en las grandes ciudades. Por lo tanto, el diagnóstico inicial generalmente no se lleva a cabo por dicho personal y la precisión de la estimación cae dramáticamente lo que puede resultar en un tratamiento y evolución pobre.

Afortunadamente, muchos de estos diagnósticos visuales pueden ser ayudados por software automatizado que en la mayoría de los casos no va sustituir o competir con la experiencia de un especialista, pero puede hacer viable tanto para el especialista y no especialista por igual, el aumentar drásticamente su evaluación de un paciente dado.

Esto hace de la visión por ordenador, una herramienta muy valiosa para el diagnóstico médico. El papel que juega la visión computacional en el campo es por lo general (aunque no exclusivamente) el de segmentar con precisión las partes de una imagen para su evaluación cuantitativa. Como es de esperar, los tipos de imágenes que se utilizan pueden variar considerablemente y las técnicas utilizadas para hacerlo también.

El objetivo de este trabajo es presentar de manera organizada las diferentes técnicas de segmentación de imágenes que se han utilizado en el diagnóstico de lesiones de piel con el fin de identificar las características que los hacen más adecuados para la tarea.

2. Lesiones de la piel y otras condiciones cutáneas

Las condiciones cutáneas son las que afectan al sistema integumentario humano (compuesto por la piel, el cabello, las uñas y las glándulas relacionadas). Miles de enfermedades de la piel se han descrito, aunque sólo para un puñado de ellos los pacientes buscan tratamiento médico. Las lesiones cutáneas constituyen una indicación visual de la mayoría de estas condiciones en las que el diagnóstico se puede hacer mediante el análisis de su localización, los síntomas, el acomodo, la duración, la morfología y el color. A medida que estos parámetros son fácilmente cuantificables, un diagnóstico ayudado por ordenador es útil para eliminar el error humano en relación con la estimación de los porcentajes de estas cantidades.

Antes de comenzar cualquier evaluación, los médicos deben localizar visualmente y examinar las lesiones de piel del paciente. Este proceso, que es trivial para un ser humano, es el más difícil de realizar para el sistema computacional sin importar los tipos de imágenes utilizados (que son obtenidas desde una simple cámara digital hasta de equipos sofisticados). Aquí es donde la visión por ordenador se vuelve crucial.

3. ¿Qué es la segmentación de imágenes?

La segmentación es la operación de bajo nivel que toma una imagen e intenta particionarla mediante la determinación de conjuntos disjuntos, regiones homogéneas o, alternativamente, mediante la búsqueda de bordes que indican la presencia de un objeto [1]. Este es el proceso que el cerebro humano debe llevar a cabo con el fin de determinar las diferentes partes de una escena.

3.1. Imágenes a color

La segmentación de imágenes no se limita a imágenes de color. Para algunos algoritmos, una imagen en blanco y negro sería suficiente para obtener información significativa. En el diagnóstico médico sin embargo, su color aporta información muy valiosa ya que los médicos analizan imágenes en color en la mayoría de los casos. Las ligeras variaciones de tonalidad pueden ser cruciales para un diagnóstico correcto. Las imágenes en blanco y negro son generalmente limitadas a los valores en el rango [0-255], el cual está muy lejos de la gama de la visión humana. Por lo tanto, se necesita una mejor representación por lo que se prefiere el color.

Aunque el uso de imágenes en color aumenta sustancialmente la complejidad de los cálculos, el beneficio que se refleja en la precisión bien vale la pena. La potencia de cálculo adicional que se necesita viene del número de combinaciones disponibles en la forma en la que se representa el color mediante tuplas de números (por lo general tres componentes). Esto se llama un espacio de color.

4. Espacio de color

El Color, y más precisamente la luz, es un tipo de radiación visible para el ojo humano. Hay varias maneras de representar esta señal analógica en una imagen digital. Por mucho el modelo más común es RGB en el que cada canal representa el monto de rojo, verde y azul que representa un píxel. Sin embargo, este espacio de color RGB es rara vez una buena elección cuando se trata de segmentación de imágenes. Otros numerosos espacios cromáticos existen como LUV, YUV, HSI, HSV y YIQ. Un amplio estudio sobre las propiedades y efectos de espacio de color en la segmentación de imágenes se puede encontrar en [2].

Los trabajos acerca de segmentación de lesiones de piel comúnmente enfatizan el espacio de color utilizado y la razón de su elección. Aunque RGB proporciona suficiente información de color, su representación no es tan buena para lesiones en la piel como se ve en [3]. El algoritmo en [4] fue probado con 25 combinaciones de canales de color de los diferentes espacios de color. Sus mejores resultados se lograron por combinaciones del espacio de color XYZ. En [5], llevan a cabo la segmentación para una piel sana donde encontraron el espacio de color HSV como el más adecuado.

5. Clasificación y pasos de los algoritmos de segmentación de imágenes

En términos generales, todos los algoritmos de segmentación de imágenes constan de tres etapas: pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento. Sin embargo, los pasos primero y tercero no siempre son necesarios dependiendo del enfoque y la robustez del algoritmo.

Pre-procesamiento es el paso de la eliminación de ruido en la imagen original. Dicho ruido no sólo se genera por la resolución del equipo utilizado para adquirir

la imagen, sino también por las propiedades naturales del sistema integumentario tales como el cabello [4].

La etapa de post-procesamiento es similar a la de pre-procesamiento, pero se utiliza para eliminar pequeños errores en la segmentación resultante (tales como píxeles aislados) a través de operaciones tales como la morfología matemática. Este suele ser necesario cuando el proceso no es lo bastante robusto o considera sólo una propiedad de las imágenes como el color, tal como se muestra en [3].

Al ser una parte integral de la visión computacional, la segmentación de imágenes ha sido ampliamente estudiada. El comparar la precisión de los algoritmos de segmentación no es tan sencillo. Algunos experimentos comparativos se proponen en [6]. En cuanto a su clasificación, Lucchese y Mitra proporcionan una clasificación exhaustiva de métodos de segmentación de imágenes en color en [1], dividida en tres categorías principales: técnicas basadas en atributos, técnicas basadas en la imagen y técnicas basadas en Física. Uno puede ver esta clasificación como una pirámide donde cada categoría va siendo más robusto que la anterior.

Las técnicas basadas en atributos se refieren a aquellos que tratan el problema de la segmentación de la imagen como la de la búsqueda de clústeres en un espacio de color o un espacio generado por sus atributos, sin tener en cuenta otras pistas como las relaciones espaciales. Agrupamiento general, Agrupamiento adaptable k-means y la umbralización del histograma se consideran en esta categoría.

Las técnicas basadas en la imagen son la que se basan en el hecho de que los puntos de un mismo objeto tienden a estar espacialmente cerca. Dividir y mezclar, crecimiento de regiones, técnicas de clasificación basados en bordes y redes neuronales son parte de esta categoría.

Las técnicas basadas en física van un paso más allá al tener en cuenta el ruido en las imágenes mediante el análisis de cómo la luz interactúa con los materiales representados. Modelos de reflexión y otros métodos estado del arte representan esta categoría que aún ha sido poco explorada en comparación con las otras.

Los algoritmos en la siguiente sección de este documento (en adelante, *clásicos*) caen en una de las dos primeras categorías propuestas en [1]. Enfoques heurísticos y los menos frecuentes (en adelante, *alternativos*) les siguen en su propia sección.

6. Segmentación clásica de imágenes de lesiones cutáneas

Se han propuesto varios algoritmos para la segmentación de lesiones cutáneas en las dos últimas décadas. Algunos de los más destacados y estudiados se discuten en esta sección.

Segmentar por el color solamente es, por lo general, el primer intento al segmentar una imagen (técnicas basadas en atributos). Un ejemplo de tales algoritmos se presenta en [3]. Dos mejoras en la imagen se aplican: la normalización del color y mejora del contraste. Estos ayudan a la segmentación pues se hace más fácil encontrar bordes y el ruido de la imagen se reduce. Después, un algoritmo ISODATA se aplica iterativamente para determinar el valor de umbral óptimo entre lesión de la piel y la piel saludable. La precisión se considera buena, aunque

visualmente, los resultados no se presentan suficientemente convincentes. Otro ejemplo de segmentación básica se puede encontrar en [7].

La necesidad de enfoques más robustos se exploró con las técnicas basadas en la imagen. En [4] y [8], la segmentación se realiza por medio de un análisis del espacio de color y el agrupamiento basado en umbralización de histograma para imágenes dermatoscópicas. Su algoritmo toma en cuenta la existencia de vello en las imágenes, que se elimina en la etapa de pre-procesamiento mediante operaciones morfológicas en las direcciones vertical, horizontal y diagonal y la interpolación de los píxeles que faltan después en sus alrededores. Un filtro de promedio (*mean*) se aplica entonces para eliminar el ruido del vello sobrante. La etapa de segmentación se realiza mediante la clasificación de cada píxel de una imagen en blanco y negro (con intensidad ajustada) en dos clases mediante el método de Otsu. Por último, se realiza un análisis de componentes conectados para eliminar los objetos adicionales, tales como marcas de los médicos en los alrededores. Las dos áreas más importantes son tomadas como lesión y la piel y el resto se descartan. Según sus pruebas, un 98 % de precisión se logró al comparar sus resultados con los de los médicos expertos.

Otro ejemplo de agrupamiento en segmentación de imágenes se muestra en [9] utilizando K-means, un algoritmo clásico.

Keke et al. [5] toman un enfoque diferente segmentando la piel sana en lugar de las lesiones. La Aritmética de Fuzzy-c-means mejorada se utiliza como el algoritmo para la segmentación donde toman cada píxel e intentan clasificarlo para un conjunto de centroides de grupo. Para evitar el ruido esperado en la imagen, una mejora se aplica al algoritmo mediante la introducción del concepto de la atracción de vecindario. Con esta adición, su exactitud máxima fue de 94 %, a pesar de que concluyen que este aumento de la precisión se refleja también en un aumento en el tiempo de procesamiento.

Wong et al. utilizan un algoritmo estocástico e iterativo de fusión de regiones en [10] con el fin de reducir los problemas que surgen de la adquisición de las imágenes con las cámaras convencionales. Cada píxel de la imagen se marca como perteneciente a una región única y estas regiones son posteriormente fusionadas con otras regiones de una manera estocástica basada en una función de similitud de regiones. Los resultados muestran que este método es más robusto a problemas de iluminación que otros métodos comparables.

Para algunas lesiones de la piel, los bordes proporcionan tanto una forma práctica de segmentar la lesión, e información acerca de la misma. Por lo tanto, la detección de bordes constituye otro enfoque relevante. Un ejemplo se puede encontrar en [11], donde se utiliza un detector de borde LOG para la detección eficaz de los mismos en las imágenes ruidosas. Una imagen RGB de entrada se convierte a una imagen de intensidad en escala de grises mediante la retención del canal de luminancia únicamente. Esta imagen se transforma entonces en una imagen binaria utilizando valores de umbral y es aquí donde se aplica el detector de borde LOG. Los resultados reportados son satisfactorios, incluso en la presencia de pelo y ruido añadido. Este método puede no funcionar con todo tipo de lesiones en la piel, pero puede ser una herramienta útil para otros

enfoques. Un trabajo similar usando detección de los bordes se presenta en [12] donde la imagen también se transforma en una imagen binaria pero en este caso se utilizan los coeficientes de wavelets con el fin de obtener una imagen mejorada con un mayor contraste. Morfología de operadores es utilizada entonces para segmentar esta imagen. Esta técnica muestra resultados prometedores con un bajo porcentaje de error en los bordes. Detección de bordes para las lesiones no melanocíticas se trata en [13]. Detección de bordes a través de algoritmos de serpiente (contorno activo) se analiza y mejora (incorporando un término promedio de campo a la función objetivo estándar en GVF) en [14].

Los trabajos previos no hacen uso de ningún tipo de conocimiento a priori. En [15], el conocimiento a priori se utiliza para un enfoque de clasificación de píxeles basado en ejemplares para imágenes dermatoscópicas. El objetivo de este método de segmentación es clasificar cada bandeja de histograma como una lesión o piel al compararlos con los ejemplares vecinos identificados a través de correspondencia de histogramas chi-cuadrada. Se logra suavidad espacial con la suposición de que píxeles cercanos probablemente pertenezcan a la misma clase. Los autores proponen como ventajas una alta precisión y la eficiencia computacional, aunque vale la pena señalar que el requisito de la base de datos previamente categorizada puede constituir un serio obstáculo.

Como se mencionó anteriormente, las imágenes en color son por lo general, favorecidas sobre las imágenes en blanco y negro por proporcionar más información. Sin embargo, una combinación de ambos también se puede utilizar como en [16] cuando resultados menos estrictos son aceptables. En este trabajo, una imagen en color se recibe como entrada para la segmentación. Esta se transforma en el espacio de color HSB que lleva la mayor parte de la información para el color gris en el componente B. Con la imagen en escala de grises, se utiliza un enfoque estadístico para encontrar los valores que mejor capturan la región de interés de la lesión. El valor promedio de brillo y el histograma en la parte de la lesión se calculan para obtener el intervalo de umbralización correspondiente a 30 % del valor relativo del canal gris . Como se observa en los resultados presentados, este enfoque no es suficiente para segmentar con precisión las lesión de la piel en la imagen. Sin embargo, no debe ser desechado ya que puede ser un posible complemento para uno de los métodos anteriores.

7. Segmentación alternativa de imágenes para lesiones cutáneas

A pesar de que la complejidad de los algoritmos mencionados es por lo general P (es decir, ejecutados en un número polinómico de pasos de acuerdo a la entrada), el gran número de píxeles en algunas de las imágenes producidas por los dispositivos modernos hacen que estos algoritmos sean menos prácticos para la evaluación inmediata, especialmente cuando son llevados a dispositivos móviles. Por esta razón, los enfoques heurísticos que se han aplicado en otras áreas de diagnóstico médico de visión por computador se presentan aquí.

Un enfoque de sistemas multi-agente para imágenes de tomografía computarizada es presentado en [17]. El sistema consta de varios agentes que tienen una sub-imagen y tratan de marcar cada píxel de su región por medio de reconocimiento a priori. Agentes moderador comprueban después el resultado de los agentes anteriores para producir un resultado final. La negociación se pondrá sólo a disposición de los agentes de trabajo que no poseen suficiente información para tomar una decisión. Este enfoque ha sido probado con pequeñas imágenes (512x512 píxeles) y encontró que los resultados estuvieron muy cerca de los datos segmentados manualmente (en torno al 90%). Como una ventaja, este método no requiere ninguna interacción aunque el tiempo de cálculo es alta incluso para imágenes pequeñas.

Los algoritmos genéticos se han aplicado también a algoritmos de segmentación para imágenes médicas. Las imágenes ruidosas que se utilizan por lo general hacen la función objetivo más compleja, multi-modal y discontinua [18]. Esto hace a los algoritmos genéticos especialmente útiles para dicha tarea. Las funciones multi-objetivo también son útiles pues varios parámetros se pueden usar para segmentar una imagen. Un estudio sobre la aplicación del AGs a las imágenes médicas se encuentra en [18].

La estrategia evolutiva, una técnica de optimización de búsqueda basada en al azar, se prueba en [19]. De manera similar a los algoritmos genéticos, éste emplea una forma elíptica como la base para segmentar la lesión. Esta forma es modificada cada generación para buscar una mejor salida. De acuerdo con sus resultados, este método es robusto y automático. Es claro, sin embargo que se necesita más información de la función de aptitud para evaluar correctamente las lesiones de morfología poco común (que contiene huecos, por ejemplo).

7.1. Paralelización

Con la reciente disponibilidad de GPUs de propósito general para el mercado de consumo, la mayoría de los algoritmos de visión por computador pueden ser revisados una vez más para que tomen ventajas del computo en paralelo que proporcionan estos dispositivos. Los algoritmos mencionados en este documento no son la excepción, al contrario, son candidatos naturales para dicha opción.

El sistema multi-agente en [17] es un claro ejemplo, donde cada agente puede hacer su trabajo de forma paralela sin afectar a los demás. Del mismo modo, cada algoritmo que aplica la misma operación para cada píxel (o grupo de píxeles) es propenso a la paralelización. Tal es el caso de los algoritmos de clasificación de técnicas basados en atributos y la mayoría de los que pertenecen a las técnicas basadas en la imagen.

8. Comparación de los algoritmos principales

A continuación se muestra una tabla con el resumen de los principales algoritmos mencionados en el presente trabajo, incluyendo el tipo de imágenes en las que fueron aplicados.

Tabla 1. Algoritmos para la segmentación de lesiones en la piel.

Técnicas de Segmentación	
Clásicas	
Técnica	Tipo de imagen
Algoritmo ISODATA	Imágenes Dermatoscópicas de Melanoma
Umbralización del Histograma	Imágenes Macroscópicas de Melanoma
Umbralizacion con el Método de Otsu	Imágenes Dermatoscópicas Varias
Aritmética de Fuzzy-C-Means	Imágenes Dermatoscópicas de Melanoma
Agrupamiento K-Means	Imágenes Macroscópicas de Lupus
Fusión de Regiones Estocástica	Imágenes Macroscópicas de Melanoma
Detector de Bordes LOG	Imágenes Dermatoscópicas de Melanoma
Coeficientes Wavelet (Bordes)	Imágenes Dermatoscópicas Varias
Detección Multifase de Bordes	Imágenes Dermatoscópicas Varias
Modelo de Serpiente Mejorado (Bordes)	Imágenes Dermatoscópicas de Melanoma
Clasificación de Pixeles por Ejemplares	Imágenes Dermatoscópicas Varias
Análisis Estadístico de Imagen	Imágenes Dermatoscópicas de Melanoma
Alternativas	
Técnica	Tipo de imagen
Sistema Multi-agente	Tomografías por Computadora
Algoritms Genéticos	Resonancia Magnética y Tomografías
Estrategia Evolutiva	Microscopía de Melanoma

9. Conclusión

Sin duda, la medicina se ha beneficiado enormemente de los avances en la visión por computador y más específicamente, en los avances en algoritmos de segmentación de imágenes. Virtualmente cualquier enfermedad que se puede diagnosticar visualmente se puede automatizar en cierta medida mediante un programa de visión por computador que se convierte en una herramienta muy valiosa para los médicos.

En este trabajo, tanto los métodos de segmentación clásicos como alternativos fueron discutidos como un medio para identificar las características que los diferencian y hacen poderosos para ciertas tareas. Métodos incluidos en las categorías basadas en atributos y basados en la imagen fueron etiquetados como clásicos. Enfoques más heurísticos fueron referidos como alternativos.

Este documento sólo recoge el trabajo en un área muy específica de la visión por computador médica que es la segmentación de imágenes. Sin embargo, todavía hay mucho más procesamiento una vez que la zona afectada se ha identificado como la clasificación y estimación de tratamiento. Al conectar cada etapa del proceso se obtienen sistemas de visión por computador y herramientas CAD que ya pueden ser utilizados en hospitales y centros de atención médica. Un amplio estudio de estos sistemas se encuentra en [20].

La segmentación de Imágenes para el diagnóstico médico es en sí mismo un enorme tema que, a pesar de que ha sido investigado ampliamente, aún presenta interesantes retos para la comunidad científica. En este trabajo se fomenta el análisis de los algoritmos utilizados previamente y sus beneficios aplicados en ciertas enfermedades para atacar nuevos problemas no sólo en condiciones cutáneas, sino también en otras enfermedades que aún no se han explorado.

Referencias

1. Yz, L.L., Y, S.K.M.: Color image segmentation: A state-of-the-art survey (2000)
2. Kwok, N., Ha, Q., Fang, G.: Effect of color space on color image segmentation. In: Image and Signal Processing, 2009. CISP '09. 2nd International Congress on. (oct. 2009) 1 –5
3. Schaefer, G., Rajab, M., Celebi, M., Iyatomi, H.: Skin lesion extraction in dermoscopic images based on colour enhancement and iterative segmentation. In: Image Processing (ICIP), 2009 16th IEEE International Conference on. (nov. 2009) 3361 –3364
4. Garnavi, R., Aldeen, M., Celebi, M.E., Bhuiyan, A., Dolianitis, C., Varigos, G.: Skin lesion segmentation using color channel optimization and clustering-based histogram (2009)
5. Keke, S., Peng, Z., Guohui, L.: Study on skin color image segmentation used by fuzzy-c-means arithmetic. In: Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2010 Seventh International Conference on. Volume 2. (aug. 2010) 612 –615
6. Kang, W.X., Yang, Q.Q., Liang, R.P.: The comparative research on image segmentation algorithms. In: Education Technology and Computer Science, 2009. ETCS '09. First International Workshop on. Volume 2. (march 2009) 703 –707
7. Lee, T., Ng, V., McLean, D., Coldman, A., Gallagher, R., Sale, J.: A multi-stage segmentation method for images of skin lesions. In: Communications, Computers, and Signal Processing, 1995. Proceedings. IEEE Pacific Rim Conference on. (may 1995) 602 –605
8. Humayun, J., Malik, A., Kamel, N.: Multilevel thresholding for segmentation of pigmented skin lesions. In: Imaging Systems and Techniques (IST), 2011 IEEE International Conference on. (may 2011) 310 –314
9. Kesede, R., Lee, L., Bassani, J.: Automatic identification of discoid lupus erythematosus. In: Biosignals and Biorobotics Conference (BRC), 2011 ISSNIP. (jan. 2011) 1 –6
10. Wong, A., Scharcanski, J., Fieguth, P.: Automatic skin lesion segmentation via iterative stochastic region merging. Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on **PP**(99) (2011) 1
11. Jaseema Yasmin, J., Mohamed Sathik, M., Beevi, S.: Robust segmentation algorithm using log edge detector for effective border detection of noisy skin lesions. In: Computer, Communication and Electrical Technology (ICCCET), 2011 International Conference on. (march 2011) 60 –65
12. Sarrafzade, O., Baygi, M., Ghassemi, P.: Skin lesion detection in dermoscopy images using wavelet transform and morphology operations. In: Biomedical Engineering (ICBME), 2010 17th Iranian Conference of. (nov. 2010) 1 –4
13. Norton, K.A., Iyatomi, H., Celebi, M., Schaefer, G., Tanaka, M., Ogawa, K.: Development of a novel border detection method for melanocytic and non-melanocytic dermoscopy images. In: Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC),

- 2010 Annual International Conference of the IEEE. (31 2010-sept. 4 2010) 5403 –5406
- 14. Zhou, H., Schaefer, G., Celebi, M., Iyatomi, H., Norton, K., Liu, T., Lin, F.: Skin lesion segmentation using an improved snake model. In: Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE. (31 2010-sept. 4 2010) 1974 –1977
 - 15. Zhou, H., Rehg, J., Chen, M.: Exemplar-based segmentation of pigmented skin lesions from dermoscopy images. In: Biomedical Imaging: From Nano to Macro, 2010 IEEE International Symposium on. (april 2010) 225 –228
 - 16. Sforza, G., Castellano, G., Stanley, R., Stoecker, W., Hagerty, J.: Adaptive segmentation of gray areas in dermoscopy images. In: Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), 2011 IEEE International Workshop on. (may 2011) 628 –631
 - 17. Chitsaz, M., Seng, W.C.: A multi-agent system approach for medical image segmentation. In: Future Computer and Communication, 2009. ICFCC 2009. International Conference on. (april 2009) 408 –411
 - 18. Maulik, U.: Medical image segmentation using genetic algorithms. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on* **13**(2) (march 2009) 166 –173
 - 19. Situ, N., Yuan, X., Zouridakis, G., Mullani, N.: Automatic segmentation of skin lesion images using evolutionary strategy. In: Image Processing, 2007. ICIP 2007. IEEE International Conference on. Volume 6. (16 2007-oct. 19 2007) VI –277 –VI –280
 - 20. Maglogiannis, I., Doukas, C.: Overview of advanced computer vision systems for skin lesions characterization. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on* **13**(5) (sept. 2009) 721 –733