

Una estrategia de segmentación de imágenes digitales de huellas dactilares latentes

Ruíz E. María E., Morales S. Miguel y Hernández M. Yahir

A Strategy for Digital Image Segmentation of Latent Fingerprints.

Abstract— Digital image segmentation is one of the most important stages in the implementation of an Automatic Fingerprint Identification System. This work describes a strategy for image segmentation of latent fingerprints using a proper combination of operators achieving better results than those reported in the literature. Latent fingerprint image are low quality images making more difficult the segmentation process. The segmentation proposed strategy is based on the gradient magnitude of the image and detection of regions. This strategy was implemented in Matlab and Java, and was tested using fingerprint images of the Fingerprint Verification Competition databases, such databases are commonly used for these purposes. The results achieved show a significant improvement compared with representative algorithms of literature, such as those based on the variance of image.

Keywords— Gradient Image, Segmentation, Automatic Fingerprint Identification System.

Resumen— La segmentación de imágenes digitales es una de las etapas más importantes en la implementación de un sistema de reconocimiento automático de huellas dactilares. En este trabajo se describe una estrategia para la segmentación de imágenes digitales que utiliza una combinación adecuada de operadores a fin de obtener mejores resultados que los reportados en el estado del arte cuando las imágenes a segmentar son huellas dactilares latentes, es decir, son imágenes de huellas dactilares con una mala calidad. La estrategia de segmentación propuesta está basada en la magnitud del gradiente de la imagen y en la detección de regiones. La estrategia propuesta fue implementada en Matlab y Java, y fue validada usando imágenes de huellas dactilares de las bases de datos de la Competencia de Verificación de Huella Dactilar (*Fingerprint*

Verification Competition), las cuales son comúnmente utilizadas para estos fines. Los resultados muestran una notable mejora en la precisión de la segmentación comparada con algoritmos representativos del estado del arte, tales como aquellos basados en la varianza de la imagen.

Palabras clave— Gradiente de una Imagen, Segmentación, Sistema de Identificación Automática de Huellas Dactilares.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de identificación automática de huellas dactilares han adquirido gran importancia en la actualidad debido a que son de gran utilidad en cuestiones relacionadas con la seguridad de diversos recursos como pueden ser recintos o información, garantizando el control de acceso y uso eficiente de los mismos.

La practicidad y eficacia del uso de huellas dactilares para la identificación de individuos las ha convertido en uno de los rasgos biométricos más usados en la actualidad, por lo que la variedad de usos y aplicaciones de estos sistemas también va en aumento.

En la figura 1, se pueden observar las tareas elementales implicadas en la implementación de un sistema de reconocimiento automático de huellas dactilares (SRAHD)[1]:

1. Captura de la imagen de la huella.
2. Procesamiento de la imagen.
3. Extracción de características.
4. Creación de patrones o plantillas.
5. Preselección y matching.
6. Almacenamiento.

El procesamiento de la imagen es una de las tareas más importantes. Durante este proceso la imagen es tratada por varios algoritmos, con el objetivo de mejorar la calidad de la imagen y transformarla en una representación adecuada para que pueda ser usada por la siguiente etapa del proceso de reconocimiento, en la que se realiza una extracción de características para obtener un patrón, que posteriormente será usado en la etapa de preselección y matching.

Realizar un procesamiento adecuado de la huella dactilar es una tarea relevante en el proceso de reconocimiento, ya que si no se realiza un tratamiento correcto de la imagen durante esta etapa existe una gran posibilidad de que durante la extracción de características se detecten características falsas de la huella dactilar o se pierda información importante, lo que aumentaría en gran medida la probabilidad de que el sistema realice una identificación errónea del individuo, es decir que el sistema falle.

Manuscrito recibido el 1 de Febrero de 2011. Este trabajo fue respaldado por la Universidad Politécnica de Cd. Victoria (UPV), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), y el Programa para el Mejoramiento del Profesorado (PROMEP).

Ruíz E. María E. hasta la fecha se ha de desempeñado como estudiante en el programa de Maestría en Ingeniería con especialidad en Tecnologías de la Información de la Universidad Politécnica de Cd. Victoria; Av. Nuevas Tecnologías 5902 Parque TECNOTAM, Carretera Victoria - Soto la Marina Km. 5.5; Ciudad Victoria, Tamaulipas, México; C.P. 87138;(e-mail elisaruiz222@hotmail.com).

Morales S. Miguel hasta la fecha se ha de desempeñado como Profesor de Tiempo Completo de la Universidad Politécnica de Victoria; Av. Nuevas Tecnologías 5902 Parque TECNOTAM, Carretera Victoria - Soto la Marina Km. 5.5 Ciudad Victoria, Tamaulipas; C.P. 87138; Tel: (834) 1720383, Fax: (834) 1720388; (e-mail mmorales@upv.edu.mx).

Hernández M. Yahir es Profesor de Tiempo Completo en la Universidad Politécnica de Victoria; Av. Nuevas Tecnologías 5902 Parque TECNOTAM, Carretera Victoria - Soto la Marina Km. 5.5. Ciudad Victoria, Tamaulipas. C.P. 87138. Tel: (834) 1720383 al 88, Ext. 2309; Fax: (834) 1720388; (e-mail yhernandezm@upv.edu.mx).



Fig. 1. Diagrama de bloques de un sistema de identificación de huellas dactilares.

Uno de los algoritmos usados durante el procesamiento de la imagen es el de segmentación, el cual tiene como propósito seleccionar solo el área de interés en la imagen (huella dactilar) y desechar lo indeseable como pueden ser manchas, sombras o cualquier cosa que no forme parte de la huella dactilar y que podría causar problemas en las etapas posteriores en el proceso de reconocimiento. Actualmente, en el estado del arte existen diversos algoritmos para resolver el problema de la segmentación de imágenes de huellas dactilares. Después de realizar un análisis de distintos algoritmos, se determinó una nueva estrategia basada en el cálculo del gradiente de la imagen y la detección de regiones.

Los resultados de la estrategia propuesta mejoran los resultados reportados en el estado del arte, aún cuando las imágenes de huellas dactilares utilizadas sean de baja calidad, siendo capaz de detectar eficientemente el área de interés en la huella dactilar eliminando manchas, sombras, ruido, etc. y adaptándose a las diferentes condiciones que puede presentar la imagen de entrada del algoritmo. Otras ventajas que ofrece esta propuesta es la utilización de herramientas de baja complejidad que facilitan en gran medida su implementación obteniendo resultados con un alto grado de eficiencia, además de consumir pocos recursos.

El resto del artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: en la siguiente sección se describen brevemente algunos métodos de segmentación más utilizados del estado del arte, en la sección 3 se presenta una introducción a los conceptos y herramientas más importantes relacionadas con la implementación de la estrategia propuesta. En la sección 4 se describe el algoritmo propuesto listando las principales tareas a realizar. En la sección 5 se presentan los resultados obtenidos.

Finalmente en la sección 6 se presentan las conclusiones de este trabajo.

II. TRABAJO RELACIONADO

Actualmente en la literatura existen varios enfoques que proporcionan diversas estrategias a seguir para la segmentación de una imagen de huella dactilar. En [2], la imagen es particionada en bloques de 16 x 16 píxeles. Entonces cada bloque es clasificado de acuerdo a la distribución del gradiente de la escala de grises en cada bloque. En [3], este método se amplía excluyendo bloques con una varianza de la escala de grises menor que un umbral. En [4], la varianza de la escala de grises en dirección ortogonal a la orientación de las crestas en la imagen de la huella dactilar es usada para clasificar cada bloque de 16 x 16 bloques. En [5], la segmentación se basa en la coherencia, y la

morfología se usa para detectar regiones. En [6], este método es ampliado usando la coherencia, la media y la varianza, y un clasificador lineal óptimo es preparado para clasificar cada píxel en la imagen. En [7], se presenta un algoritmo adaptivo basado en los Momentos de Gauss-Hermite, la energía de éstos y la coherencia se usan para eliminar el fondo de una imagen aún cuando éste no sea uniforme, es decir, que existan algunas manchas, sombras, ruido, etc. en la imagen.

La mayoría de los algoritmos mencionados resultan poco eficientes en imágenes borrosas o con ruido, ya que podrían eliminar información importante del área de interés o por el contrario, dejar información indeseable como parte de la imagen. Por otra parte, los algoritmos propuestos en [5], [6] pueden detectar zonas con ruido, sin embargo, resulta complicado determinar un umbral generalizado óptimo para el cálculo de la coherencia. Diversos algoritmos de segmentación hacen uso de operaciones matemáticas complejas que dificultan su implementación, como en el caso de [5][6][7]. En este trabajo, la estrategia propuesta ofrece un nivel de eficiencia igual o mayor al de los algoritmos [5][6][7], pero su implementación es más rápida y menos compleja.

III. SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES DE HUELLAS DACTILARES

La estrategia de segmentación propuesta está basada en ideas y procedimientos de diferentes algoritmos existentes en el estado del arte, con el objetivo de obtener un algoritmo más eficiente y fácil de implementar.

A. El Gradiente de una imagen

Una herramienta comúnmente usada para la detección de bordes en una imagen f en un punto (x, y) es el gradiente, denotado por ∇f , y definido como un vector bidimensional [8]:

$$\nabla f \equiv \text{grad}(f) \equiv \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

siendo un vector perpendicular al borde, donde el vector ∇f apunta en la dirección de variación máxima de f en el punto (x, y) por unidad de distancia.

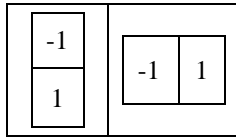


Fig. 2. Diagrama de las máscaras 1D usadas para implementar las ecuaciones (4) y (5) respectivamente.

La magnitud (longitud) del vector ∇f , denotada como $M(x, y)$, se define como:

$$M(x, y) = \text{mag}(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \quad (2)$$

la cual representa la variación en la dirección del vector ∇f . La dirección del vector ∇f está dada por el ángulo medido con respecto al eje x, y se calcula como:

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left[\frac{g_y}{g_x} \right] \quad (3)$$

Para obtener el gradiente de una imagen es necesario calcular las derivadas parciales $\frac{\partial f}{\partial x}$ y $\frac{\partial f}{\partial y}$ en cada píxel de la imagen, usando las siguientes ecuaciones:

$$g_x = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \cong f(x+1, y) - f(x, y) \quad (4)$$

$$g_y = \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \cong f(x, y+1) - f(x, y) \quad (5)$$

Estas dos ecuaciones pueden ser implementadas para todos los valores de x, y mediante una operación de filtrado usando las máscaras de la figura 2.

B. Etiquetado de Regiones

Los algoritmos de etiquetado permiten identificar zonas formadas por píxeles interconectados en una imagen binaria. Estas zonas pueden representar objetos de interés, son identificadas mediante valores numéricos únicos (etiquetas), lo que permite separar los objetos presentes en la imagen. En este trabajo se utilizó un algoritmo de etiquetado con el propósito de identificar y separar el área de interés de regiones más pequeñas que no cuentan con información trascendente para nuestra aplicación, este algoritmo toma como entrada una imagen binaria en donde el fondo de la imagen es negro y las regiones de interés son blancas. El proceso de etiquetado consiste en realizar un análisis de conectividad, para determinar si dos o más píxeles están unidos y por lo tanto pertenecen a un mismo objeto. Este enfoque ya ha sido utilizado en otros trabajos y se presenta a continuación [9]:

1. Se prueba si el píxel actual no es parte del fondo. En caso falso ir al paso 7.
2. Se verifica si el píxel es el primero de una nueva región.
3. Se evalúa si alguno de los píxeles vecinos ha sido etiquetado. En este punto, se evalúan solo los píxeles sombreados que se muestran en la figura 3(a), ya que los demás no han sido analizados y por lo tanto no pueden estar etiquetados. El

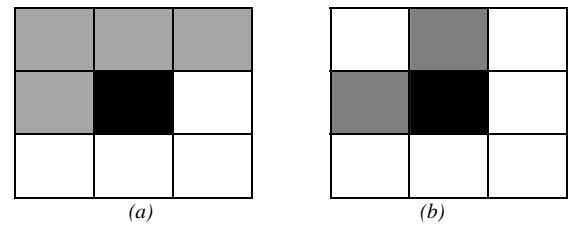


Fig. 3. Diagrama de los Píxeles vecinos analizados.

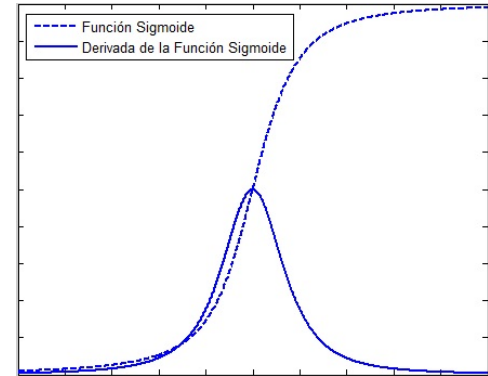


Fig. 4. Diagrama de una función sigmoide y su derivada.

algoritmo tomado como base para realizar la separación de objetos evalúa los píxeles mostrados en la figura 3(b), es decir se basa en 4-conectividad, lo cual puede causar que una región sea tomada como varias. Este problema es resuelto usando 8-conectividad.

4. Si existe más de un píxel vecino etiquetado, se comparan los valores de todos ellos. Si la etiqueta es la misma, se asigna esta etiqueta al píxel que se está evaluando.
5. Si la etiquetas son diferentes, se guarda el dato en una tabla de equivalencias, es decir que ambos valores pertenecen a una misma región para realizar la corrección después de etiquetar toda la imagen.
6. Por último, si el píxel no posee vecinos etiquetados, se etiqueta con un nuevo valor.
7. Se procede a analizar otro píxel.

Después de etiquetar toda la imagen, se deben corregir las etiquetas utilizando la tabla de equivalencias creada. Esta corrección es necesaria porque en general un objeto puede estar etiquetado con más de un valor. La tabla de equivalencias posee información sobre las etiquetas que pertenecen a un mismo objeto. Por lo tanto esta tabla se utiliza para asignar a todos los píxeles que pertenecen a una misma región, el valor de una de las etiquetas. El valor asignado es el mayor.

IV. ESTRATEGIA PROPUESTA DE SEGMENTACIÓN DE LA IMAGEN DE HUELLA DACTILAR

Podemos detectar el área de la huella dactilar y desechar la información innecesaria en la imagen haciendo uso de las herramientas descritas en la sección anterior. En un primer paso se aproximan las derivadas parciales en las coordenadas de cada píxel de la imagen, como se muestra en las ecuaciones (4) y (5). Los cambios abruptos de intensidad se pueden modelar como una función sigmoide como la que se puede observar en la figura 4. El resultado de la derivada de una función sigmoide en áreas donde existe mayor cambio de intensidad es una función en

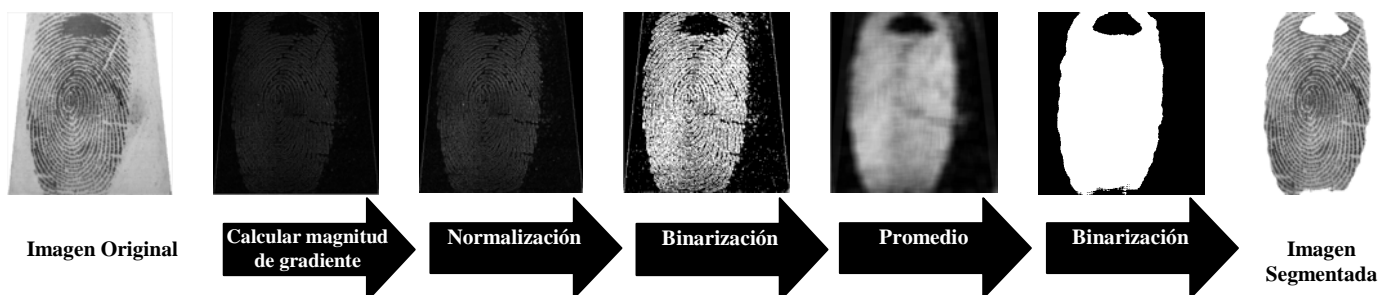


Fig. 5. Diagrama de las etapas que conforman la estrategia de segmentación propuesta.

forma de campana angosta semejante a la que aparece se muestra en la figura 4. Por otro lado un cambio en la intensidad de los píxeles mínimo o nulo tiene como resultado una función con valores cercanos a cero. Con estas aproximaciones de las derivadas parciales se calcula la magnitud del gradiente.

La magnitud del gradiente será grande en las áreas donde existan cambios abruptos de intensidad y pequeña en aquellas que presenten cambios suaves, estos resultados posteriormente son normalizados por lo que los valores de la magnitud del gradiente en áreas donde existan cambios de intensidad abruptos se elevarán acercándose aún más al nivel de intensidad máximo, lo que facilita la binarización.

Debido a esta normalización, se puede utilizar como valor umbral para la binarización la media de los valores de intensidad de la magnitud del gradiente normalizado. El propósito de esta primera binarización es hacer que los bordes detectados en la imagen se vuelvan más notables como se aprecia en la figura 5 y faciliten la detección del área de interés.

Enseguida, se utiliza un filtro de promediado con un tamaño de máscara de 19×19 píxeles para obtener áreas con una escala de gris uniforme. Se observó en la imagen normalizada y binarizada que existían áreas con píxeles oscuros que tenían una extensión de alrededor de 10 píxeles cuadrados, por lo que una máscara de promediado de 19 píxeles cuadrados permite cubrir y combinar esas áreas con píxeles blancos adyacentes para obtener áreas con un color grisáceo uniforme que evita la aparición de huecos dentro del área de interés al realizar la binarización final. La imagen resultante de la última binarización servirá como entrada del algoritmo de etiquetado. Por último, en la imagen filtrada y binarizada se guardará la región que tiene el mayor número de píxeles conectados (etiquetado de regiones) y se desechará el resto de las regiones con menos píxeles. Esta región corresponderá a la región donde se encuentra la información más significativa de una huella dactilar.

A continuación se listan a detalle las principales tareas del algoritmo de segmentación propuesto:

- 1) Dada una imagen de huella dactilar de tamaño $N \times M$, calcular el gradiente de la imagen filtrándola usando las máscaras de la figura 2 y posteriormente la magnitud del gradiente usando la ecuación (2).
- 2) Normalizar los valores de la imagen, para asegurarse de que se encuentren en un rango de 0 a 255. Para esto, es necesario:
 - i. Encontrar el valor mínimo de intensidad en la imagen.
 - ii. Restar el valor mínimo encontrado a cada uno de los valores de la imagen.

- iii. Encontrar el valor máximo de intensidad en los nuevos valores de la imagen y dividirlo entre 255.

- iv. Por último, multiplicar cada uno de los valores de la imagen por el resultado obtenido de la división en el paso anterior.

- 3) Binarizar la imagen normalizada, utilizando como umbral el cálculo de la media de la imagen.
- 4) Aplicar un filtro de promediado a la imagen binarizada, utilizando una máscara de convolución con coeficientes de valor $1/fc$, donde f representa el número de filas de la máscara y c representa el número de columnas de la máscara.
- 5) Binarizar nuevamente la imagen filtrada, obteniendo nuevamente la media de la imagen para que ésta sea usada como umbral.
- 6) Obtener la matriz de etiquetas de la imagen binaria utilizando algún algoritmo de etiquetado, en este trabajo se utilizó el mismo algoritmo que en [9].
- 7) Encontrar la etiqueta con el mayor número de ocurrencias en la matriz de etiquetas, esto descartando las pertenecientes al fondo.
- 8) Detectar la región más grande y enviar al fondo todas las regiones restantes detectadas, rescatando así sólo la información que pertenece a la huella dactilar.

En la figura 5, se pueden observar las distintas etapas de la estrategia de segmentación propuesta en este trabajo, en las que se hace uso de herramientas sencillas y fáciles de implementar para eliminar información innecesaria de la imagen de la huella dactilar.

V. RESULTADOS

Con el propósito de realizar un análisis comparativo se realizó también la implementación de uno de los algoritmos de segmentación más representativos en el estado del arte. Bajo dicho esquema, se calcula la varianza de la imagen dividida en bloques. Cada bloque es considerado como parte del área de interés si el resultado de su varianza es mayor que un umbral predefinido, de otra manera es enviado al fondo. Se utilizaron diversas imágenes con un tamaño de 328 por 364 píxeles (valores N y M mencionados en el paso 1) propuesto) de las bases de datos que fueron utilizadas en una de las ediciones de la Competencia de Verificación de Huella Dactilar [11] para realizar pruebas y poder realizar una comparación de los mismos con los resultados de algoritmos propuestos en este trabajo. En la tabla I podemos observar los resultados obtenidos con diferentes imágenes por el algoritmo basado en la varianza y el algoritmo propuesto.

TABLA I.
RESULTADOS OBTENIDOS POR LOS ALGORITMOS IMPLEMENTADOS

Imagen N°	Imagen original	Imagen Segmentada usando la varianza [3][4][10]	Imagen segmentada por el algoritmo propuesto en este trabajo
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

TABLA I.
RESULTADOS OBTENIDOS POR LOS ALGORITMOS IMPLEMENTADOS
(CONTINUACIÓN)

Imagen N°	Imagen original	Imagen Segmentada usando la varianza [3][4][10]	Imagen segmentada por el algoritmo propuesto en este trabajo
8			
9			
10			
11			
12			

En la tabla I se puede apreciar como en los resultados del algoritmo que hace uso de la varianza se puede perder información importante de la huella dactilar o dejar información que no es de interés como parte de la imagen. En las imágenes 1 y 3 de la tabla I se obtienen resultados parecidos, mientras que en la imagen 2, el resultado de la segmentación presenta más errores debido a que las condiciones de la imagen cambiaron, es decir, la calidad de la imagen es baja, por lo que es más difícil distinguir el área de interés del fondo.

El algoritmo propuesto es capaz de adaptarse a las condiciones de la imagen de entrada, por lo que no es necesario el establecimiento de un umbral predefinido para obtener buenos resultados. En la tabla I se puede observar que en todos los

casos, la estrategia propuesta en este trabajo produce como resultado una sola región al segmentar solo el área de interés en la imagen de huella dactilar latente y eliminar información indeseable, a diferencia de las estrategias propuestas en [3][4][10] que no eliminan completamente esta información de la imagen. Se obtuvieron resultados favorables en la mayoría de las muestras en las que fue probada la estrategia propuesta, observándose que debe existir un contraste entre las crestas y los valles que haga notar los bordes presentes en la imagen ya que si el cambio en la intensidad entre ellos es mínimo el área será eliminada como en el caso de las imágenes 4, 5, 6, 7 y 9 de la tabla I, donde se desecharon partes de la huella debido a que no se detectaron cambios de intensidad importantes en esas áreas y que no serán de utilidad en la fase de extracción de características y reconocimiento.

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Se pueden obtener buenos resultados de segmentación de huellas dactilares usando algoritmos basados en la varianza de la imagen si la imagen que tenemos como entrada está en buenas condiciones, es decir, no está borrosa, manchada o con presencia de ruido. El algoritmo propuesto en este trabajo obtuvo mejores resultados en la mayoría de las muestras de la base de datos que fue utilizada para realizar pruebas. En algunas de las imágenes existen áreas en las que el cambio de intensidad entre las crestas y los valles es mínimo por lo que no fueron detectadas como parte de la huella y se consideran como parte del fondo. En la estrategia propuesta se utilizaron herramientas conocidas del estado del arte como son la magnitud del gradiente con el objetivo de detectar cambios abruptos de intensidad en la imagen siendo que en el área de la huella es donde existe una mayor concentración de estos cambios. Al binarizar la imagen, el área de la huella se hace aún más notable lo que facilita su detección a través de la aplicación de un filtro de promediado para obtener áreas con una intensidad uniforme. La binarización permite que se puedan detectar todas las áreas que componen la imagen con la ayuda de un algoritmo de etiquetado de regiones, por lo que se desecharon todas las regiones pequeñas rescatando solo la más grande que pertenece a la huella dactilar. El algoritmo propuesto en este trabajo se desarrolló como parte de las actividades de la implementación de un Sistema de Identificación Automática de Huellas Dactilares por lo que será integrado en la pila de procesos del sistema de reconocimiento, para que posteriormente sea implementado en una tarjeta FPGA con la finalidad de mejorar los tiempos de procesamiento.

REFERENCIAS

- [1] D. Maltoni, D. Maio, A. K. Jain, and S. Prabhakar, Handbook of Fingerprint Recognition. Londres: Springer-Verlag, 2009, pp.4-5.
- [2] B. M. Mehre, N. N. Murthy, S. Kapoor, and B. Chatterjee, "Segmentation fingerprint images using the directional image", Pattern Recognition, vol. 20, no. 4, 1987, pp. 429-435.
- [3] B.M. Mehre, N.N. Murthy, S. Kapoor, and B. Chatterjee, "Segmentation fingerprint images-a composite method", Pattern Recognition, vol. 22, no. 4, 1987, pp. 381-385.
- [4] N. Ratha, S. Chen and A. Jain, "Adaptive flow orientation based feature extraction in fingerprint images", Pattern Recognition, vol. 28, no. 11, 1995. pp. 1657-1672.

[5] A.M. Bazen and S.H. Gerez, "Directional field computation for fingerprints based on the principal component analysis of logical gradients", In: Proceedings of ProRISC2000, 11th Annual Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing, Veldhoven, Netherlands, 2000.

[6] A.M. Bazen and Sabith H. Gerez, "Segmentation of Fingerprint Images", In: Proc. RISC2001 Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing, Veldhoven, Netherlands, 2001.

[7] L. Wang, X. Chen and J. Shen, "Fingerprint image segmentation based on Gaussian-Hermite Moments", In: Advanced Data Mining and Applications, Lecture Notes in Computer Science, 2005, pp. 446-454.

[8] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, 2008, pp. 206-208.

[9] N. L. Montes Castrillón, "Desarrollo de Algoritmos de Segmentación de Frutos Maduros y Verdes de Café en Imágenes Tomadas en Condiciones Controladas, Basados en las Propiedades de Color", Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Ingeniería y Arquitectura Manizales, Manizales, Colombia, 2001.

[10] N. F. Binti Zakaria, "Implementation Of Fingerprint Biometric Template System In Embedded Software Design," M.E. Thesis, Faculty of Electrical Engineering, University Technology Malaysia, Johor Bahru, Johor, Malaysia, 2006.

[11] D. Maio, D. Maltoni, R. Cappelli, J. L. Wayman and A. K. Jain, "FVC2000: Fingerprint Verification Competition", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24, no. 3, March 2003.

María E. Ruiz E., nació en Cd Victoria, Tamaulipas el 8 de abril de 1984. Obtuvo el grado de Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria en el estado de Tamaulipas en el año 2007.



Ella ha trabajado en empresas privadas como desarrolladora de software. Actualmente, se encuentra desarrollando su proyecto de investigación para obtener el grado de Maestra en Ingeniería en la Universidad Politécnica de Ciudad Victoria, Tamaulipas. Su área de especialidad es el procesamiento de imágenes digitales y el desarrollo de sistemas computacionales en dispositivos reconfigurables FPGA.



Miguel Morales Sandoval nació en Calpan, Puebla el 07 de octubre de 1978. Recibió el grado de licenciado en Ciencias de la Computación en 2002 por la Universidad Autónoma de Puebla. Recibió el grado de Maestro y Doctor en Ciencias en 2004 y 2008 respectivamente, ambos por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, ubicado en Tonantzintla, Puebla.

Desde diciembre de 2008 es profesor investigador en la Universidad Politécnica de Victoria, en Ciudad Victoria, Tamaulipas donde dirige tesis de maestría e imparte diversas materias de posgrado y licenciatura en el área de las Tecnologías de Información. Desde 2003 realiza proyectos de investigación en las áreas de la criptografía, con especialidad en Criptografía de Curvas Elípticas y el diseño digital de arquitecturas hardware usando dispositivos reconfigurables y lenguajes de descripción de hardware. Ha publicado alrededor de 20 artículos en revistas y congresos especializados, y participa en el desarrollo de proyectos de investigación aplicada.

El Dr. Morales-Sandoval es miembro del Sistema Nacional de Investigadores y cuenta con la distinción de perfil deseable por PROMEP.



Yahir Hernández Mier nació en Durango, Durango el 27 de abril de 1977. Recibió el grado de Ingeniero Electrónico en 1999 por el Instituto Tecnológico de Cd. Victoria (ITCV), Tamaulipas, México y el grado de Maestro en Ciencias en Bioelectrónica por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, IPN (CINVESTAV), México, D.F., en 2003. Concluyó su trabajo para obtener el grado de Doctor en el Centro de Investigación en automatización de Nancy (CRAN), Vandoeuvre-Les-Nancy, Francia. Actualmente, se desempeña como profesor investigador

en la Universidad Politécnica de Cd. Victoria, México en el área de mecatrónica y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Sus áreas de interés se enfocan sobre aplicaciones medicas e industriales de visión por computadora, procesamiento de señales e instrumentación.