

Reconocimiento de Huellas Dactilares Usando Características Locales

Fingerprint Recognition Using Local Features

*Gualberto Aguilar**, Gabriel Sánchez, Karina Toscano, Mariko Nakano, Héctor Pérez

ESIME Culhuacan, Instituto Politécnico Nacional. Av. Santa Ana 1000, 04430 México D.F.

(Recibido el 28 de enero de 2008. Aceptado el 30 de junio de 2008)

Resumen

El reconocimiento de huellas dactilares es uno de los métodos más populares usados con mayor grado de éxito para la identificación de personas. La huella dactilar tiene características únicas llamadas minucias, las cuales son puntos donde los bordes terminan o se dividen. Los sistemas de identificación que usan patrones biométricos de huella dactilar se denominan AFIS (Sistema de Identificación Automático de Huella Dactilar). En este trabajo se realizó un sistema para reconocimiento de huella dactilar usando combinación de Transformada Rápida de Fourier (FFT) con Filtros de Gabor para aclarar la imagen y después un novedoso método para el reconocimiento usando características locales.

----- *Palabras clave:* AFIS, FFT, filtros de gabor, minucia, reconocimiento.

Abstract

Fingerprint recognition is one of the most popular methods used for identification with greater degree of success. The fingerprint has unique characteristics called minutiae, which are points where a curve track finishes, intersect or branches off. Identification systems using fingerprints biometric patterns are called AFIS (Automatic Fingerprint Identification System). In this work a method for Fingerprint recognition is considered using a combination of Fast Fourier Transform (FFT) and Gabor Filters for image enhancement and later a novel method of recognition using local features.

----- *Keywords:* AFIS, FFT, gabor filters, minutiae, recognition.

* Autor de correspondencia: teléfono: 52 + 55 + 5729 60 00 Ext. 73207, fax: 52 + 55 + 5656 20 58, correo electrónico: gualberto@calmecac.esimecu.ipn.mx (G. Aguilar).

Introducción

La biometría se refiere al reconocimiento automático de un individuo usando ciertas características físicas y/o de comportamiento. Tradicionalmente, las contraseñas y las tarjetas ID han sido usadas para moderar el acceso a lugares restringidos. Sin embargo, en estos sistemas la seguridad puede ser fácilmente violada cuando se divulga la contraseña a un usuario no autorizado o cuando un impostor roba la tarjeta. Las huellas dactilares se forman completamente alrededor de los siete meses de desarrollo del feto y la configuración de los bordes de los dedos no cambia durante la vida del individuo excepto debido a algunos accidentes como raspaduras o cortadas en las yemas [1]. Por lo tanto, la probabilidad de encontrar dos huellas dactilares similares es de 1.9×10^{-15} [2]. Existen dos métodos principales para el procesamiento de huellas dactilares: características locales y patrones globales. El primer método analiza las bifurcaciones y terminaciones de los bordes, el segundo método representa una aproximación macroscópica ya que considera el flujo de los bordes, por ejemplo, arcos, lazos y espirales. Otra característica importante es tomar en cuenta el tipo de lector usado, para este trabajo se utilizó un lector con superficie óptica. Debemos tener presente que en una imagen entre mayor sea su calidad, menor es la probabilidad de encontrar falsas minucias debido a que una falsa minucia es creada en muchas ocasiones por una mala calidad de la imagen de entrada.

Experimentación

El sistema propuesto en este artículo consiste de dos etapas importantes. La primera etapa consiste en una combinación de dos algoritmos para aclarar y reconstruir la información de la imagen. La segunda etapa consiste en usar minucias para el reconocimiento y en algunos casos una etapa de discriminación de imágenes parecidas con el fin de que el sistema nos entregue a la salida una sola imagen. El sistema consiste de siete pasos: Adquisición, Etapa de Preprocesamiento, Aclaración, Adelgazamiento, Extracción de Minucias, Reconocimiento y algunas veces una etapa de Verificación.

Adquisición

La adquisición de las huellas dactilares se realizó desde el dispositivo biométrico UareU 4000 de Digital Persona Inc. Las imágenes fueron capturadas con una resolución de 512 DPI y un tamaño de 340x340 píxeles en escala de grises. Para este artículo se creó una base de datos con 1000 diferentes imágenes que corresponden a 100 diferentes personas, es decir, 10 imágenes por cada persona. Esta base de datos consiste de 500 imágenes obtenidas con nuestro lector óptico y 500 imágenes obtenidas de la base de datos FVC2002. La figura 1 muestra el lector óptico y algunas imágenes usadas para este trabajo.



Figura 1 a) Lector óptico usado, b) Ejemplo de imágenes obtenidas con nuestro lector, c) Ejemplo de imágenes usadas de la base de datos FVC2002

Etapa de Pre-procesamiento

Cuando se utiliza un sensor óptico, es casi imposible que la huella dactilar de una misma persona proporcione exactamente la misma información cuando se escanea una y otra vez. Esta variación puede ser causada por diferentes factores tales como el movimiento del dedo al momento de la captura, distintas presiones en las áreas laterales del escáner, posiciones variables del dedo en el sensor, etc. El simple hecho de no colocar el dedo en la misma posición ocasiona que la información capturada sea variable, es decir, en algunas ocasiones habrá más información que en otras, aunque se trate del mismo dedo capturado. Esta

información que no es constante se encuentra en los extremos del dedo, ya que la parte central casi siempre se coloca con una cierta presión y por lo tanto, la información se captura correctamente.

Para evitar posibles errores en el reconocimiento posterior, esa información en los extremos será eliminada, para poder asegurar que solamente la información central sea procesada al momento de la extracción de minucias. En caso de que esta distorsión no fuera eliminada, el algoritmo podría detectar falsas minucias. Por lo tanto, la imagen fue recortada en un 10% en cada uno de sus lados tomando en cuenta que esto no elimina información importante de la huella dactilar por lo mencionado anteriormente. Esto se muestra en la figura 2.



Figura 2 a) Imagen original. b) Imagen con reducción de ruido

Aclaración

El desempeño de los algoritmos de extracción de minucias y otras técnicas de reconocimiento de huellas dactilares recae fuertemente en la calidad de las imágenes de entrada. En una imagen de huella dactilar ideal, los bordes y valles mantienen un flujo de dirección constante. En esta situación, los bordes pueden ser fácilmente detectados y las minucias pueden ser localizadas con gran precisión en la imagen. Sin embargo, en la práctica debido a las condiciones de la piel (por ejemplo, piel mojada o seca, con cortadas y raspaduras), el ruido en los sensores, una presión incorrecta del dedo y la inherente baja calidad de algunas huellas (por ejemplo, personas mayores,

trabajadores manuales, etc.) un gran porcentaje de imágenes de huellas dactilares son de pobre calidad.

El objetivo de un algoritmo de aclaración es mejorar la claridad de la estructura de los bordes en las regiones recuperables y marcar las regiones no-recuperables con demasiado ruido para un posterior procesamiento. La mayoría de las técnicas existentes están basadas en el uso de filtros contextuales cuyos parámetros dependen de la frecuencia y orientación de los bordes locales. La información contextual incluye: continuidad y regularidad de los bordes. Debido a estas propiedades de la imagen de la huella dactilar las regiones borrosas e interrumpidas pueden ser recuperadas usando información contextual de los vecinos de alrededor. Hong en [3] nombró tales regiones como regiones recuperables. La eficiencia de un algoritmo automático de aclaración depende de la forma en la cual se utiliza la información contextual. Los filtros pueden ser definidos en el dominio de Fourier o en el dominio espacial. En este trabajo se utilizó una combinación de filtros en los dos dominios para una mejor aclaración.

Filtro en el dominio espacial: O’Gorman en [4] propuso el uso de filtros contextuales por primera vez para aclarar imágenes de huellas dactilares. Estos usan un alisamiento que mejora el eje paralelo a los bordes. El filtro incrementa el contraste en una dirección perpendicular a los bordes mientras realiza un alisamiento en la dirección de los bordes. Recientemente, Greenberg en [5] propuso el uso de un filtro anisotrópico que está basado en la estructura de filtros adaptivos por Yang en [6]. Los filtros de Gabor tienen una propiedad importante que consiste en una óptima resolución de frecuencia [7]. Las funciones elementales de Gabor forman una representación muy intuitiva de las imágenes de la huella dactilar ya que capturan la periodicidad, aún cuando la naturaleza de las huellas dactilares no es estacionaria. La función simétrica de Gabor tiene la forma de la ecuación (1):

$$G(x, y) = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{x^2}{\delta_x^2} + \frac{y^2}{\delta_y^2}\right]\right\} \cos(2\pi fx) \quad (1)$$

aquí f representa la frecuencia del borde y la elección de δ_x y δ_y determina la forma de la envolvente. Este es por mucho, el método más popular para aclarar imágenes de huellas dactilares. La figura 3 muestra la imagen aclarada con este método.



Figura 3 Imagen aclarada con filtros de Gabor

Filtro en el dominio de Fourier: Sherlock y Monro [8] realizaron un filtro contextual completamente en el dominio de Fourier. Cada imagen es convolucionada con filtros precalculados del mismo tamaño que la imagen. Sin embargo, el algoritmo asume que la frecuencia de los bordes es constante a lo largo de la imagen con el fin de evitar tener un gran número de filtros precalculados. Por lo tanto, el algoritmo no utiliza toda la información contextual proporcionada por la imagen de la huella dactilar. Watson propuso otra técnica de aclaración completamente en el dominio de Fourier. En esta técnica la imagen es dividida en bloques los cuales son traslapados, la imagen aclarada es obtenida con las ecuaciones (2) y (3):

$$I_{enh}(x, y) = FFT^{-1}\{F(u, v)|F(u, v)|^k\} \quad (2)$$

$$F(u, v) = FFT(I(x, y)) \quad (3)$$

Otra ventaja de esta técnica es que no requiere del manejo de imágenes intrínsecas para su operación. Esta tiene el efecto de incrementar la componente espectral dominante mientras atenúa las componentes débiles. Sin embargo, además de preservar la fase, la aclaración también retiene el

espectro original $F(u, v)$. La imagen aclarada con este método se observa en la figura 4.



Figura 4 Imagen aclarada con FFT

Con los párrafos anteriores queda claro que ambas técnicas presentan buenas características que pueden ser combinadas para obtener un mejor resultado en la imagen aclarada. Por lo tanto, en este artículo hemos propuesto usar una combinación de la FFT y Filtros de Gabor para realizar el proceso de aclaración de la imagen. Una vez que tenemos las dos imágenes aclaradas, se realiza una suma algebraica y el resultado mostrara una imagen con píxeles blancos solamente cuando en las dos imágenes el píxel sea blanco también. La figura 5 muestra este proceso.

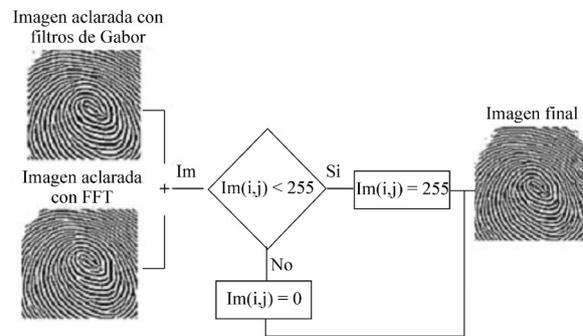


Figura 5 Proceso de combinación

Adelgazamiento

Antes de la etapa de extracción de minucias, se realiza un proceso de adelgazamiento, es decir, se aplica un algoritmo que entrega como resultado una imagen con bordes de un píxel de grosor.

Para entender mejor el algoritmo es necesario conocer algunas definiciones. Después del proceso de aclaración la imagen es binarizada, es decir, está formada de ceros y unos, donde un “1” significa un píxel blanco y un “0” significa un píxel negro. Un píxel 0 (x,y) es interno, si sus cuatro vecinos (x+1,y), (x-1,y), (x,y+1) y (x,y-1) son también 0. Un píxel 0 es límite, si no es interno y solamente uno de sus ocho vecinos es 1. Un píxel se considera de conexión si al ser eliminado se interrumpe una línea.

El algoritmo consiste en encontrar píxeles internos en nuestra imagen y después eliminar los píxeles límite. Este proceso es realizado hasta no encontrar más píxeles internos. A continuación, se explica con más detalle este proceso. El primer paso de este algoritmo consiste en encontrar el total de píxeles internos que existen en nuestra imagen. Después, se eliminan todos los píxeles que son límite, teniendo en cuenta que no se trate de un píxel de conexión. Este primer paso se muestra en la figura 6.

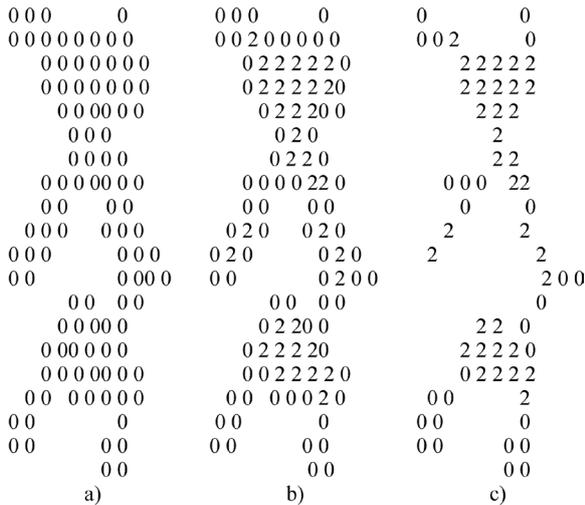


Figura 6 Proceso de adelgazamiento. a) Imagen de inicio. b) Imagen con píxeles internos. c) Imagen después de la eliminación de píxeles límite

Este proceso se repite hasta que no existan más píxeles internos. Después del primer adelgazamiento de la imagen y no encontrar más píxeles

internos, el segundo paso consiste en realizar una modificación al algoritmo. Dicho cambio consiste en encontrar píxeles internos únicamente con tres vecinos y después se eliminan los píxeles límite. La tercera etapa de adelgazamiento consiste en realizar nuevamente una modificación al algoritmo que consiste en eliminar píxeles internos. La eliminación de un píxel interno se realiza cuando no es posible eliminar un píxel límite pero existen aún píxeles internos. El último paso consiste en eliminar píxeles internos que tienen únicamente 2 vecinos y teniendo cuidado de que no se trate de un píxel de conexión. El resultado final después de N repeticiones se muestra en la figura 7

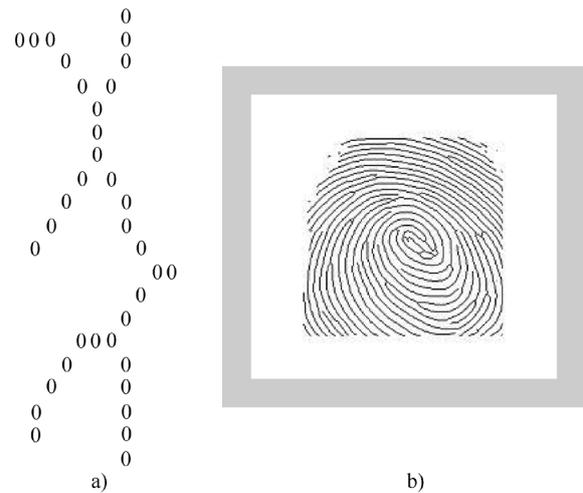


Figura 7 Imagen después del proceso de adelgazamiento. a) Imagen de ejemplo adelgazada. b) Huella dactilar real adelgazada

Extracción de minucias

Después del proceso de adelgazamiento, la imagen está lista para aplicarle el algoritmo de detección de minucias. El algoritmo consiste en calcular el número de píxeles que cruzan el píxel central (Pc), esto se calcula con la ecuación (4):

$$Pc = \sum_{i=1}^8 p(i) \quad \text{Si} \begin{cases} Pc = 7 & \text{Bloque con terminación} \\ Pc = 6 & \text{Bloque sin minucia} \\ Pc \leq 5 & \text{Bloque con bifurcación} \end{cases} \quad (4)$$

En la ec. (4) p_1 a p_8 es una secuencia ordenada de píxeles que definen el bloque de 8 vecinos del píxel central. En la figura 8a se puede observar la configuración de la ventana usada para localizar bifurcaciones y terminaciones. Las figuras 8b, 8c y 8d son las configuraciones posibles que podemos encontrar.

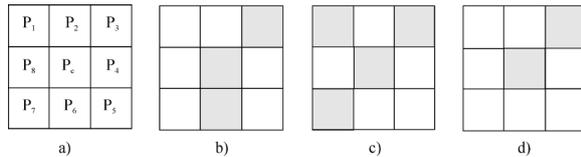


Figura 8 a) Ventana de 3x3 usada para encontrar minucias, b) Bloque sin minucias, c) Bloque con bifurcación, d) Bloque con terminación

Un $P_c=7$ significa que estamos en una ventana con una terminación. Un $P_c=6$ significa que no existe bifurcación ni terminación. Un $P_c \leq 5$ significa que hemos encontrado una bifurcación. Este proceso se realiza sobre toda la imagen binaria aplicando ventanas de 3x3. La figura 9 muestra las minucias localizadas.

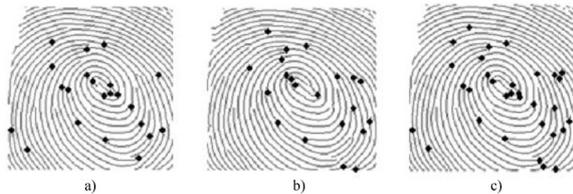


Figura 9 a) Imagen final con filtros de Gabor, b) Imagen final con FFT, c) Imagen final con combinación

En esta figura se puede observar que cuando aplicamos solamente filtros de Gabor para aclarar la imagen, 22 minucias (bifurcaciones) fueron encontradas. Cuando aplicamos solamente FFT a la imagen, 21 minucias fueron encontradas. Pero cuando se aplicó la combinación, 32 minucias fueron localizadas. En la figura 10 se puede observar también que la combinación de Filtros de Gabor con FFT nos ayuda a detectar una mayor cantidad de minucias.

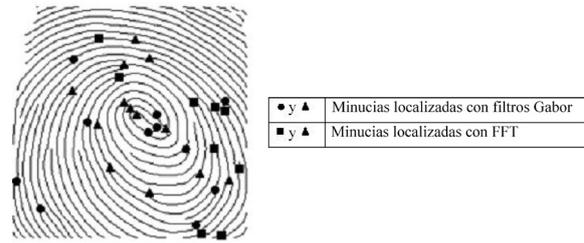


Figura 10 Imagen final con el total de minucias

Esta es la razón por la cual se ha propuesto combinar dos etapas de aclaración y de esta forma evitar que algunas minucias sean eliminadas durante el proceso.

Etapa de Reconocimiento

El reconocimiento se realizó con tres importantes características: coordenadas, distancia y ángulos. La razón de usar tres características es poder obtener el mínimo error posible en el reconocimiento. Así, la información que se almacena de la huella dactilar consiste en una matriz de tamaño 4x500. La matriz se compone de 500 vectores y cada vector de 4 valores que consisten de las dos coordenadas de la primera minucia, la distancia a la siguiente minucia y el ángulo de la primera minucia con respecto al eje Y. Por lo tanto, el tamaño total de nuestra matriz almacenada es de 1000x500 (5 huellas por persona y 50 personas diferentes).

El proceso de reconocimiento es realizado de la siguiente forma: la imagen de entrada se convierte en una matriz de 4x500 y esta matriz es comparada con cada una de las almacenadas en nuestra base de datos. Primero, se localizan los vectores con distancia iguales y se toman únicamente los que tienen el mismo ángulo. Después, se descartan los vectores que tienen coordenadas muy diferentes y de esta forma podemos asegurar un mejor reconocimiento. Después de varias pruebas, se decidió que las coordenadas pueden variar en un radio de 10 píxeles. La figura 11 muestra el método para formar un vector.

Se decidió también que con un umbral mayor de 15 se obtiene un buen reconocimiento, es decir,

que una imagen de entrada será reconocida solamente cuando su matriz contenga más de 15 vectores iguales a alguna de las imágenes almacenadas en nuestra base de datos. La figura 12 muestra el proceso de reconocimiento.

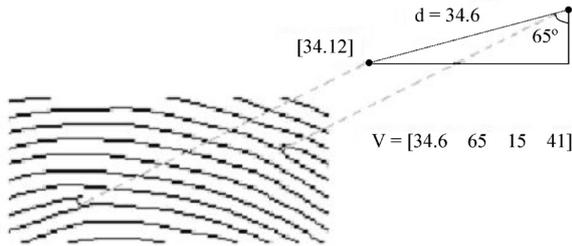


Figura 11 Vector resultante de una minucia

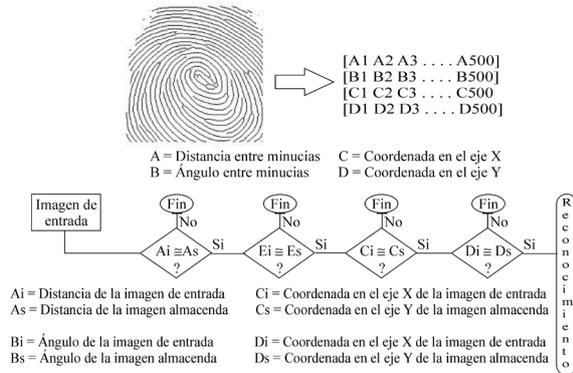


Figura 12 Proceso de reconocimiento

La imagen de entrada es transformada en una matriz de 4x500 y después es comparada con cada una de las matrices almacenadas. Si en una matriz almacenada existen más de 15 vectores iguales a los de entrada, la imagen es reconocida.

Etapa de Verificación

En la primera etapa del sistema se obtuvo un alto porcentaje de reconocimiento, sin embargo, en algunas pruebas el umbral fue superado por dos o hasta tres huellas de diferentes personas, es decir, los valores de coordenadas, ángulos y distancias entre minucias fueron semejantes para más de una persona. Por lo tanto, en esas pruebas el sistema entregaba a la salida más de una ima-

gen reconocida, esto ocasionaba también, que se aumentara el porcentaje de falsa aceptación. Por esta razón, se realizó una segunda etapa que consiste en verificar las imágenes resultantes. Con esta prueba se eliminan las imágenes similares y únicamente se acepta como verdadera una sola imagen.

En [9] se presentó un proceso similar. Ahí, la etapa de verificación se realizó con parámetros estadísticos. La principal desventaja es que se necesita procesar la imagen completa adelgazada, por lo tanto, el sistema es más lento y menos eficiente.

La etapa de verificación en este artículo es más rápido, eficiente y con mejor complejidad computacional. Esta etapa consiste en analizar la dirección y el número de píxeles que fue movida la imagen de entrada. Cuando dos imágenes de la huella dactilar de una misma persona son comparadas y una de estas imágenes está trasladada, todas las minucias de la huella dactilar se mueven en la misma dirección y la misma cantidad de píxeles. La figura 13 muestra este ejemplo.

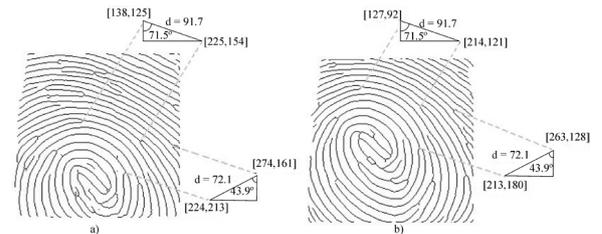


Figura 13 a) Imagen almacenada, b) Imagen de entrada

En este ejemplo la imagen de entrada se movió 11 píxeles a la izquierda y 33 píxeles hacia arriba con respecto a la imagen almacenada. Por lo tanto, todas las minucias de la imagen de entrada se movieron el mismo número de píxeles en la misma dirección.

Pero cuando dos imágenes de diferentes personas son comparadas y una de ellas está trasladada, el número de píxeles y la dirección cambian. En la figura 14 se presentan dos imágenes de diferentes personas; la primer minucia se movió 4 píxeles a

la derecha y 5 hacia abajo, pero la segunda minucia se movió 10 píxeles a la derecha y 0 píxeles en el eje Y.

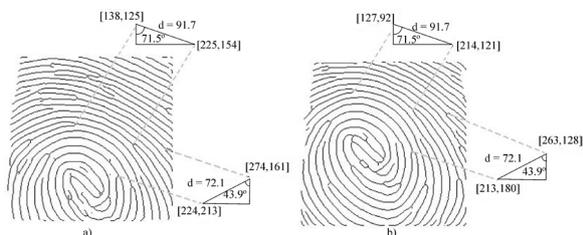


Figura 14 a) Imagen almacenada. b) Imagen de entrada

Resultados

Las pruebas realizadas consistieron en el reconocimiento de 100 personas. Cada persona realizó cinco pruebas y los resultados se presentan a continuación.

La tabla 1 muestra los resultados del reconocimiento usando FFT y filtros de Gabor para la etapa de aclaración.

La tabla 2 muestra los resultados del reconocimiento usando la combinación de Filtros de Gabor y FFT.

Tabla 1 Resultados de las pruebas realizadas a 100 imágenes con FFT y filtros de Gabor

	<i>Identificación Verdadera</i>	<i>Identificación Falsa</i>	<i>Sin Identificación</i>
Porcentaje usando solamente FFT	93,1%	3,8%	3,1%
Porcentaje usando solamente Gabor	94,1%	3,3%	2,6%

Tabla 2 Resultados de las pruebas realizadas con combinación de FFT y filtros de Gabor

	<i>Identificación Verdadera</i>	<i>Identificación Falsa</i>	<i>Sin Identificación</i>
Porcentaje total	95,9%	2,5%	1,6%

En los resultados anteriores el umbral de aceptación fue de 15, es decir, se necesitan como mínimo 15 vectores iguales en una matriz para decir que la imagen es verdadera. Después, se realizaron otras pruebas haciendo una modificación al

umbral. La tabla 3 muestra los resultados usando diferentes umbrales de aceptación (10, 15 y 20).

Finalmente, la tabla 4 muestra los resultados aplicando la etapa de verificación.

Tabla 3 Resultados de las pruebas realizadas a 100 imágenes con diferentes umbrales

	<i>Identificación Verdadera</i>	<i>Identificación Falsa</i>	<i>Sin Identificación</i>
Porcentaje total (10)	96,1%	3,2%	0,7%
Porcentaje total (15)	96,3%	2,1%	1,6%
Porcentaje total (20)	95%	1,1%	3,9%

Tabla 4 Resultados de las pruebas realizadas con la etapa de verificación

	<i>Identificación Verdadera</i>	<i>Identificación Falsa</i>	<i>Sin Identificación</i>
Porcentaje total (10)	98,6%	0,8%	0,7%
Porcentaje total (15)	98,3%	0,1%	1,6%
Porcentaje total (20)	96,1%	0%	3,9%

Conclusiones

En este artículo hemos presentado un algoritmo nuevo en la etapa de aclaración basado en una combinación de filtros en el dominio de Fourier y en el dominio espacial. Uno de los mejores algoritmos para la etapa de aclaración de huellas dactilares son los filtros de Gabor cuya característica principal es que entregan una óptima dirección y resolución en la frecuencia, pero no manejan adecuadamente regiones de alta curvatura debido al ancho de los bloques. Los anchos de banda angular y radial son constantes. La razón de usar un segundo método de aclaración es para eliminar el problema de las regiones con alta curvatura, ya que la aclaración por medio de la FFT presenta buenos resultados cerca de las regiones de alta curvatura. Una vez que la imagen de la huella dactilar es aclarada, se aplica un algoritmo para el reconocimiento basado en minucias, obteniendo buenos resultados, pero en algunas pruebas la imagen de entrada fue similar a más de una imagen almacenada, por lo tanto, el sistema entregaba como resultado más de una imagen reconocida. Por esta razón, se decidió hacer una etapa de verificación después del proceso de reconocimiento y de esta forma asegurar que el sistema nos entregue a la salida una sola huella dactilar reconocida.

Los resultados muestran un porcentaje elevado para una aplicación de tamaño regular. La implementación de un sistema con estas características es muy aceptable debido a que presenta un alto porcentaje de identificación y 0.1% de falsa identificación, el 1,6% sin identificación no es un problema ya que el usuario solamente tendrá que poner nuevamente su huella para que el sistema lo reconozca correctamente.

Una posible solución para reducir el porcentaje de falso rechazo es aumentar la cantidad de imágenes almacenadas en la base de datos. Nosotros proponemos como trabajo futuro una base de datos con 10 imágenes almacenadas de huellas dactilares por persona y realizar el reconocimiento una vez más.

Referencias

1. M. Kuchen, C. Newell. "A Model for fingerprint formation". *Europhys letters*. Vol. 68. 2004. pp.141-147.
2. W. Badler. "Dermatoglyphics". *Science transition*. Vol. 9. 1991. pp. 95.
3. L. Hong, Y. Wang, A. K. Jain. "Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation". *Transactions on PAMI 21*. Vol. 4. 1998. pp. 777-789.
4. L. O'Gorman, J. V. Nickerson. "An approach to fingerprint filter design". *Pattern Recognition*. Vol. 22. 1989. pp. 29-38.
5. S. Greenberg, M. Aladjem, D. Kogan, I. Dimitrov. "Fingerprint image enhancement using filtering techniques". *International Conference on Pattern Recognition*. Vol. 3. 2000. pp. 326-329.
6. G. Z. Yang, P. Burger, D. N. Firmin, S. R. Underwood. "Structure adaptive anisotropic image filtering". *Image and Vision Computing*. Vol. 14. 1996. pp. 135-145.
7. S. Qian, D. Chen. "Joint time-frequency analysis". *IEEE Signal Processing Magazine*. Vol. 16. 1999. pp. 52-67.
8. B. G. Sherlock, D. M. Monro, K. Millard. "Fingerprint enhancement by directional Fourier filtering". *Visual Image Signal Processing*. Vol. 141. 1994. pp. 87-94.
9. G. Aguilar, G. Sanchez, K. Toscano, M. Nakano, H. Pérez. "Multimodal Biometric System Using Fingerprint" *International Conference on Intelligence and Advance Systems*. 2007.