

Diseño de un sistema biométrico de identificación usando sensores capacitivos para huellas dactilares

*Carlos Andrés Madrigal González, Jaime León Ramírez Madrigal, Juan Carlos Hoyos Arbeláez, David Stephen Fernández**

Grupo de investigación GEPAR, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia

(Recibido el 25 de octubre de 2005. Aceptado el 28 de agosto de 2006)

Resumen

El sistema de reconocimiento biométrico está basado en el procesamiento digital de una imagen de una huella dactilar de 256 x 300 píxeles, la cual se toma por medio de un sensor capacitivo, y luego se transmite a un computador (PC) por medio de una interfaz de comunicación. En este trabajo se presenta el diseño de un sistema donde se configura el sensor y se obtiene la imagen para comunicarla al PC. El procesamiento de la huella por medio de algoritmos de filtrado de imágenes propios; el primero de los filtros resalta los valles y crestas de la huella, y se aplica a la imagen por regiones, el siguiente algoritmo se encarga de filtrar la imagen para extraer las características más importantes, luego se lleva la imagen a sólo dos niveles de gris, las crestas a un ancho de un solo píxel (esqueletización), y por último el reconocimiento, se hace hallando la ubicación de las características o minucias de cada huella y las distancias entre ellas, generando vectores de información.

----- *Palabras clave:* binarización, biometría, valles, crestas, esqueletización, filtrado de imágenes, huellas dactilares, identificación, minucias, procesamiento digital de imágenes, sensores capacitivos.

Design of a fingerprint, biometric identification system using capacitive sensors

Abstract

A fingerprint, biometric recognition system was designed. The system is based on the digital processing of fingerprints of 256 x 300 pixels, which are recorded by a capacitive sensor and then transmitted to a PC by means of a communication

* Autor de correspondencia: teléfono: 210 55 69, fax: +34+210 55 18, correo electrónico: dfernan@udea.edu.co.

interface. Successive steps of configuring the sensor, obtaining the image, and communicating with the PC were conducted. Image processing is performed by the PC using own digital image filtrate algorithms. The first level of filtering stresses the valleys and crests of the fingerprint; the image is divided in regions for applying this algorithm. The next algorithm filters the image to extract the most relevant characteristics. Subsequently, the image is converted to only two levels of gray, and the crests are converted to one-pixel width (skeleton). Finally, recognition is done by seeking the location of the relevant characteristics of each fingerprint and determining the distances between them, generating information vectors.

----- *Key words:* Binar, biometry, valleys, crests, skeleton, digital filtrate of images, fingerprint, identification, minucias, digital processing of images, capacitive sensors, valleys.

Introducción

Los sistemas de identificación biométricos son aquellos que se basan en las características físicas o morfológicas de los seres humanos para hacer algún tipo de reconocimiento.

El reconocimiento de huellas dactilares es una de las técnicas biométricas más maduras y confiables, ya que la huella dactilar es una característica estable en el tiempo y cumple con las condiciones de: universalidad (presente en todos los seres humanos), unicidad (única para cada persona), permanencia (no varía en la persona en el tiempo) y cuantificación (tiene la posibilidad de ser cuantificada). Los sistemas de análisis de huellas dactilares pueden ser clasificados en dos categorías:

- Identificación.
- Verificación o autenticación.

La categoría de verificación o autenticación, *Automatic Fingerprint Authentication System* (AFAS), consiste en obtener la imagen de la huella dactilar de una persona, de la cual se conoce su identidad, para compararla con la que está almacenada en la base de datos y verificar si la huella dactilar pertenece a esa persona (1: 1).

La categoría de identificación, *Automatic Fingerprint Identification System* (AFIS), consiste en conocer solo la imagen de la huella dactilar y compararla con las existentes en la base de datos para hallar la identidad de la persona a la que pertenece esa huella dactilar (1: n).

Las huellas dactilares están conformadas por crestas y valles, las cuales, por su forma y distribución forman figuras dentro de la imagen de la huella. Dichas figuras son llamadas *minucias*.

En la actualidad existen muchos sistemas de identificación biométricos que utilizan la huella dactilar, como los sensores ópticos, los sensores capacitivos, los sensores térmicos y otros más. Estos sistemas usan técnicas de procesamiento de imágenes similares para la identificación de un usuario.

Con el sistema diseñado se pretende desarrollar un sistema de identificación de personas, confiable y seguro, que permita controlar el acceso a lugares restringidos y permita crear la base para el desarrollo de un sistema embebido de identificación portátil y de bajo consumo de energía para su comercialización, la gran importancia y el valor agregado de este diseño radica en el control que se tiene sobre cada una de las etapas del sistema; en los algoritmos propios y mejorados de procesamiento, análisis y aplicación, lo que posibilita en gran medida futuras modificaciones del sistema.

En el presente artículo se mostrará el desarrollo de cada una de las etapas de la investigación con los resultados parciales de cada etapa. El artículo está compuesto por las siguientes secciones: 1) *sistema de reconocimiento*, que describe brevemente la topología del sistema diseñado, 2) *adquisición de la característica*, forma en la que se captura la imagen de la huella dactilar usando el sensor capacitivo, 3) *mejoramiento de la característica*, forma en la que se mejora la imagen adquirida por medio de filtros para mejorar la calidad de la misma, 4) *posprocesamiento*, que describe el procesamiento que se realiza en la imagen mejorada para que luego el algoritmo de verificación pueda extraer las minucias, 5) *verificación*, funcionamiento del algoritmo de verificación usando minucias, 6) y por último se presentarán las conclusiones y resultados obtenidos.

Sistema de reconocimiento

El sistema de reconocimiento biométrico está compuesto por varias etapas, en la figura 1 se muestra un diagrama de flujo del sistema en el que se muestran todas las etapas del proceso, cada una de las cuales será explicada más detalladamente en las secciones siguientes.

Adquisición de la característica

Para nuestro caso, la característica a evaluar es la huella dactilar y la mejor forma de adquirirla es por medio de una imagen de la misma. Para ad-

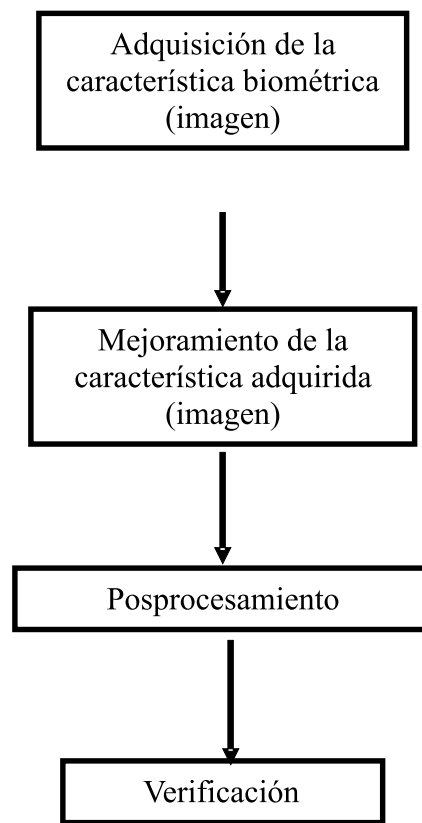


Figura 1 Diagrama de flujo del sistema de reconocimiento biométrico

quirir una imagen de la huella dactilar existen varios tipos de sensores, como los de estado sólido, los sensores ópticos, los escáneres, entre otros, los cuales presentan ventajas y desventajas.

Para el proyecto se seleccionó un sensor capacitivo de estado sólido (véase figura 2) que nos entrega una imagen de 256 x 300 píxeles y es fabricado por la empresa Veridicom.

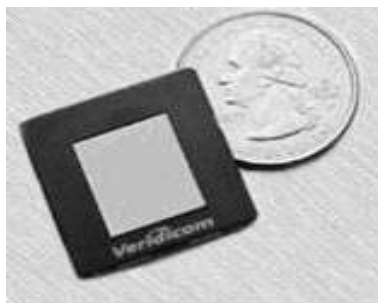


Figura 2 Sensor de huella dactilar

La escogencia de este sensor se debe a su gran confiabilidad, ya que su tecnología de adquisición de datos (capacitiva) hace que la única forma de tomar una imagen que contenga información válida para el reconocimiento, sea la imposición física del dedo. Según estudios realizados por la empresa Veridicom [1] (empresa fabricante del sensor utilizado), los sensores de tipo capacitivo poseen un mejor desempeño gracias a su alta resolución (500 dpi), pequeño tamaño, durabilidad, resistencia y bajo consumo de energía, además son inmunes a las variaciones diarias de la huella como la suciedad y la grasa, aunque todas estas cualidades no los hacen inmunes a cierto tipo de engaños. En unas pruebas realizadas en Alemania [2] se compararon diferentes tipos sensores y diferentes fabricantes de los mismos, estas pruebas arrojaron que los sensores capacitivos de la marca Veridicom poseen un factor de seguridad adicional en comparación con los otros sensores ya que

su película protectora no permite la autenticación usando las huellas remanentes, lo que sí sucede en otras referencias de otros fabricantes.

Para el desarrollo del proyecto fue necesario diseñar un sistema para configurar el funcionamiento del sensor, obtener los datos de cada imagen y

transmitirlos al computador, que es el encargado de procesarlos. Este sistema consta de: 1 sensor capacitivo, 1 microcontrolador, 1 circuito impreso diseñado para esta aplicación y componentes electrónicos. En la figura 3 vemos el sistema de desarrollo diseñado e implementado.

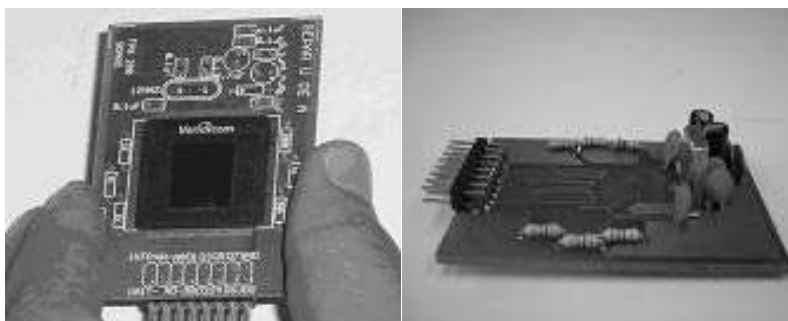


Figura 3 Sistema de desarrollo (vistas frontal y posterior)

El microcontrolador es el encargado de la interfaz de comunicaciones entre el sensor y el PC; para esta interfaz se utiliza un protocolo serial tipo RS232 o un protocolo USB para la comunicación entre el microcontrolador y el PC y un protocolo paralelo

de 8 bits entre el microcontrolador y el sensor. En la figura 4 se muestra un diagrama de bloques explicativo de la interfaz de comunicación entre los dispositivos y en la figura 5 se muestra una imagen capturada con el sistema desarrollado.



Figura 4 Diagrama de bloques explicativo de la interfaz de comunicación



Figura 5 Imagen de una huella dactilar adquirida con el sensor capacitivo

Mejoramiento de la característica

En la etapa de la adquisición de las imágenes digitales se le agrega ruido a éstas mediante distintas fuentes, entre ellas los mecanismos de los sensores ópticos, los mecanismos de los sensores eléctricos o electrónicos, mecanismos de apertura en cámaras fotográficas, y también debido a la transmisión de dichas imágenes a través de un canal físico, y a una gran cantidad de impurezas a la hora de adquirir la imagen, producidas por una gama de factores entre las que se incluyen el ambiente, el estado del sistema de adquisición, el estado del canal de transmisión, los cuales generan distorsión y ruido.

A la hora de trabajar con procesamiento digital de imágenes nos encontramos con los problemas citados anteriormente, lo cual genera una serie de dificultades al momento de manejar la información. Dentro de las aplicaciones del procesamiento digital de señales se encuentran los sistemas biométricos, los que a su vez permiten infinidad de aplicaciones en áreas como la ingeniería y la medicina. Aplicaciones en las que encontramos los problemas de baja calidad en las imágenes. Para tratar de eliminar al máximo todo tipo de impurezas o ruido se implementan una serie de estrategias, ya sean por medio de hardware de adquisición o por medio de *software* que se aplica en la imagen adquirida.

Una de las técnicas de procesamiento más utilizadas para mejorar la calidad de una imagen digital, es la aplicación de algoritmos que permitan eliminar las señales indeseadas, que por causa del método de adquisición, o de las condiciones bajo las cuales fue captada determinada imagen, aparecen en la misma. Este tipo de técnica recibe el nombre de filtrado de imágenes, la cual es clasificada en dos grandes grupos, filtraje lineal y filtraje no lineal.

El principal objetivo de las técnicas de mejora, es procesar una imagen de forma tal que resulte más adecuada que la original para una aplicación específica, es importante establecer que un método que sea muy útil para mejorar las imágenes de rayos X, puede no ser necesariamente el ideal para mejorar las imágenes de las huellas dactilares.

Existen principalmente dos dominios en los cuales se hace el mejoramiento de una imagen: el dominio espacial y el dominio de la frecuencia. El dominio espacial se refiere al propio plano de la imagen, y las técnicas de esta categoría se basan en la manipulación directa de los píxeles de la imagen. El procesamiento en el dominio de la frecuencia se basa en la aplicación de la transformada de Fourier sobre la imagen capturada. Dentro del dominio espacial se encuentran filtros suavizantes, filtros por la mediana, y filtros diferenciales, dentro del dominio de la frecuencia se encuentran filtros de paso bajo, paso alto y pasa banda.

Para el diseño de nuestros propios algoritmos nos basamos en los filtros de imágenes existentes en *MATLAB*. Algunos de ellos son:

Filtros de la mediana

Un filtro no lineal comúnmente usado es la mediana que sustituye cada valor de la imagen por la mediana de los valores que lo rodean en una ventana. La ventana suele ser de tamaño 3 x 3 o 5 x 5 píxeles. Algunas de las ventajas del filtro mediano es que no emborrona los bordes, elimina los puntos aislados (del ruido) pero sin difuminar tanto los bordes y otros detalles abruptos (correspondientes a las altas frecuencias de la imagen) (véase figura 6).

Código en Matlab:

```
X = imread('mihuella.bmp');
```

```
Y = medfilt2(X);
```

```
imshow(Y);
```

Filtros de máximos y mínimos

Los filtros denominados de máximos y mínimos operan en la imagen por medio de ventanas o matrices máscara donde se hacen comparaciones de los píxeles vecinos y se llevan al valor máximo o mínimo que se encuentre al hacer las debidas comparaciones. Estos filtros tratan de homogeneizar la imagen, eliminando las pequeñas espurias de la imagen (véase figura 7).

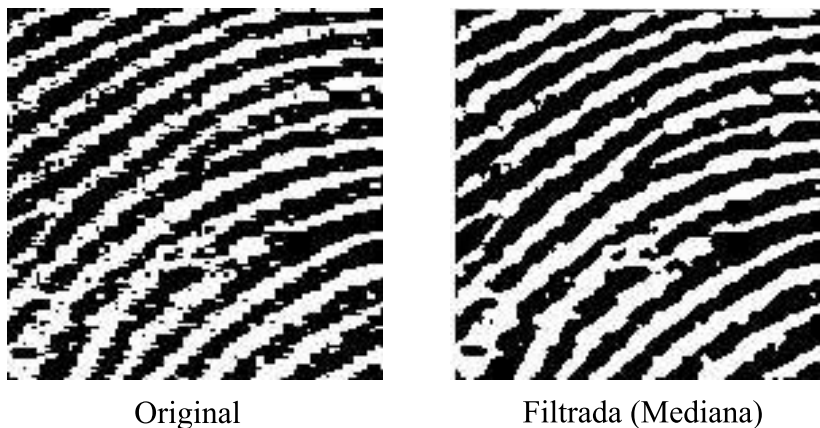


Figura 6 Filtro de la mediana

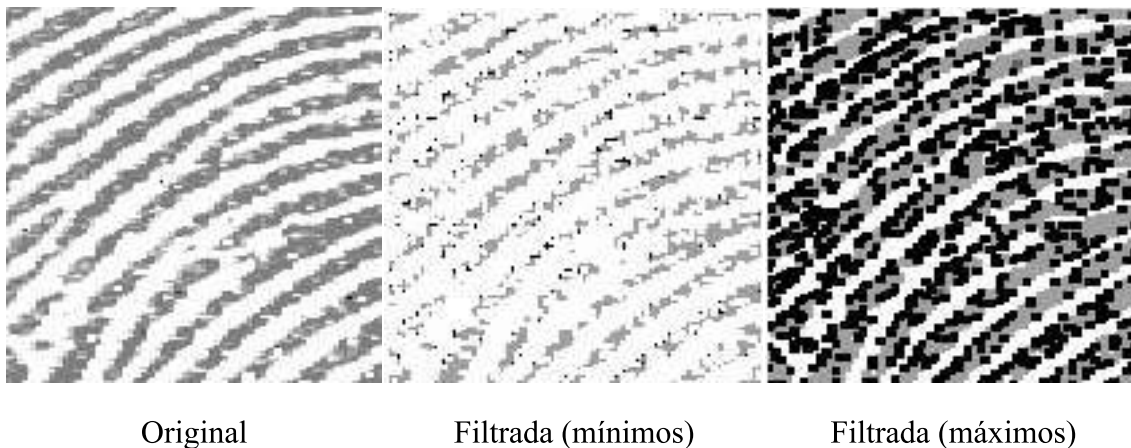


Figura 7 Filtro de máximo y mínimo

Código en Matlab

```
X = imread('mihuella.bmp');
Min = minFILT2(X,[2 2]);
imshow(min);
```

Filtros pasa bajos

Los filtros denominados de pasos bajo eliminan las componentes de alta frecuencia en el dominio de Fourier enfatizando en las bajas frecuencias, suavizando las imágenes y suprimiendo ruidos. Se trata de asemejar el valor de cada píxel al nivel de los píxeles vecinos, reduciendo la variabilidad

espacial de la imagen. Este filtro produce un emborronamiento de los bordes de la imagen, perdiéndose la nitidez visual, pero ganando en homogeneidad (véase figura 8).

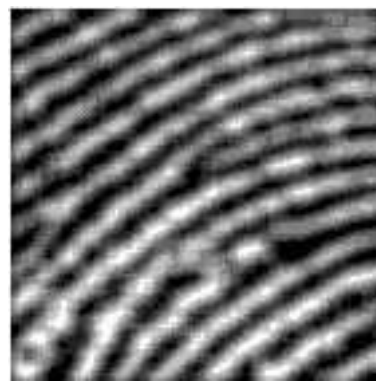
Código en Matlab

```
X = imread('mihuella.bmp');
M = fspecial('average',7);
Y = filter2(M,X);
imshow(Y);
```

Filtros pasa altos



Original



Filtrada (paso bajo)

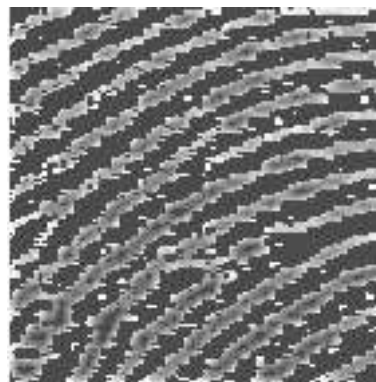
Figura 8 Filtro paso bajo

Enfatizan las altas frecuencias, para mejorar o enfatizar en las características lineales que se encuentren en las imágenes, como carreteras, fallas, o límites en general. En éste filtro se realiza el efecto contrario a los filtros pasa-bajos, eliminando las bajas frecuencias y dejando las altas.

Otra forma de obtener una imagen así filtrada es sustraer de la imagen original, la misma imagen filtrada paso-bajos. Es lógico ya que si a la imagen le restamos los componentes de baja frecuencia, nos quedaremos con las de alta frecuencia (véase figura 9).



Original



Filtrada (paso alto)

Figura 9 Filtro paso alto

Código en Matlab

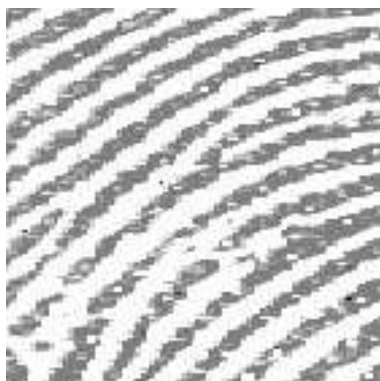
```
I = imread('mihuella.bmp');
M = fspecial('average',7);
Y = filter2(M,I);
Z = double(I)-Y;
imshow(Y);
```

Filtros de Wiener

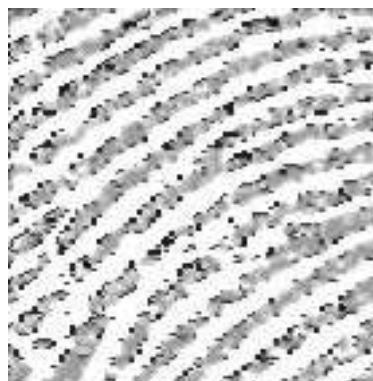
El filtro Wiener (Helstrom, 1967) y sus variantes han sido diseñados para trabajar en los casos donde el ruido ha llegado a ser significativo. Este filtro en su forma completa requiere que conozcamos mucho sobre la señal y las características del ruido que la infecta.

La idea de un filtro de Wiener es poder estimar una señal a partir de otra conociendo la correlación cruzada entre ellas de antemano.

El filtro de Wiener es un filtro FIR estático, es decir, que sus coeficientes no varían con el tiempo, por lo que funciona solo para procesos estacionarios. Véase figura 10.



Original



Filtrada (Wiener)

Figura 10 Filtro de Wiener

Código en Matlab

```
I = imread('mihuella2.bmp');
```

```
w = wiener2(I,[3 3]);
```

```
imshow(w)
```

Para el mejoramiento de nuestra imagen hicimos uso de un algoritmo de mejoramiento basado en la transformada rápida de Fourier (FFT), que resalta los valles y crestas de la huella. El algoritmo consiste en dividir la imagen en secciones iguales de 32 x 30 píxeles, luego aplicar a cada sección la transformada de Fourier bidimensional, procesar la función resultante usando histogramas de frecuencia para la magnitud y la fase de la función, y luego realizar la transformada inversa de Fourier, logrando así una mejora local para cada región. En la figura 11 se muestra una imagen mejorada usando el algoritmo mencionado. La imagen a pesar de verse seccionada tiene una mejor calidad ya que las discontinuidades que se presentaban en la imagen original a causa de los poros han sido eliminadas, además se logra un mejor contraste en cada sección entre las crestas y los valles.

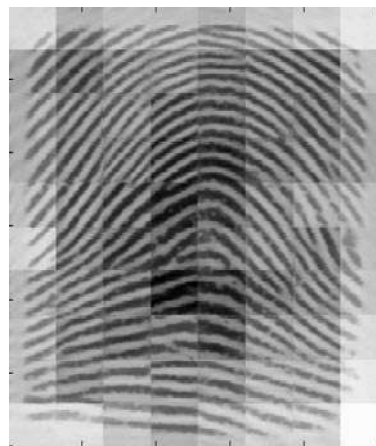


Figura 11 Imagen mejorada usando FFT

Luego se busca eliminar la información irrelevante de la huella dactilar, para esto se hizo uso de un método de filtrado bidimensional por la mediana el cual se encarga de asignar el valor de la mediana de los píxeles vecinos al píxel central de una matriz de $M \times N$. Además se asigna un valor de 0 a los bordes de la imagen, para que estos no aparezcan distorsionados. En la figura 12 se muestra una imagen filtrada usando el método descrito anteriormente.

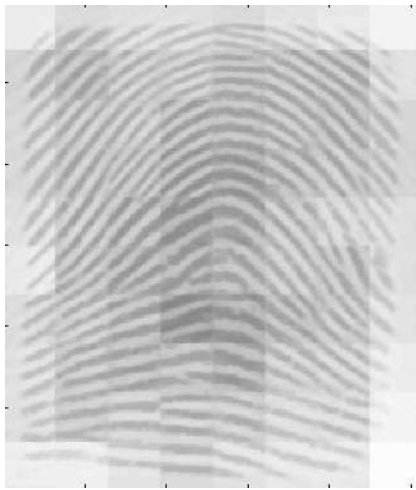


Figura 12 Imagen filtrada

Posprocesamiento

En esta etapa se busca adecuar la imagen para hacer más fácil el trabajo del algoritmo de reconocimiento, esta adecuación consiste en llevar la imagen de 255 posibles niveles de gris a solo dos posibles niveles de gris (0,1) (también llamado binarización), este proceso es realizado calculando la media de las matrices de cada una de las regiones de la imagen de 32 x 30 píxeles y dependiendo de este valor se toma la decisión de asignar un valor de 0 ó 1. En la figura 13 se muestra la imagen binarizada, después de ser procesada con el algoritmo de binarización.



Figura 13 Imagen binarizada

Luego se necesita llevar las líneas o crestas de la huella a un ancho de un solo píxel (también llamada esqueletización), este proceso se lleva a cabo recorriendo las crestas o líneas negras de la huella y siguiendo sus tendencias buscando la mejor diagonal, para esto se almacena un histórico de las últimas tendencias y se van eliminando los píxeles que están por fuera de la tendencia de cada cresta llegando por último a una cresta de un solo píxel de ancho o cresta esqueletizada [3]. Este proceso es también llamado *skeleton* o *thining*. En la figura 14 se muestra una imagen esqueletizada.





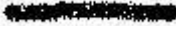







Figura 14 Imagen esqueletizada

Reconocimiento

En esta etapa se diseñó un algoritmo de identificación basado en la extracción de las minucias de la huella dactilar. El algoritmo diseñado se basa en el tipo de minucia, la posición de cada minucia y la distancia entre las minucias del mismo tipo. Esta información es luego almacenada en la base datos para posteriores identificaciones. Como se explicó anteriormente las minucias son conjuntos de valles y crestas que conforman los rasgos particulares de cada huella dactilar, en la tabla 1 se muestran las minucias más comunes [4], [5] y [6].

Tabla 1 Minucias más comunes en una huella dactilar.

1. Abrupta o terminación	
2. Bifurcación o convergencia	
3. Desviación	
4. Empalme o cruce	
5. Fragmento o borde independiente	
6. Interrupción	
7. Laguna u ojal	
8. Punto o isla	
9. Transversal	
10. Agujón	

En la figura 15 se muestran algunas minucias de una huella dactilar que siguió todo el proceso de reconocimiento planteado en el proyecto.



Figura 15 Minucias de una huella dactilar esquelizada

En la figura 16 se muestra una huella con los 2 tipos de minucias más comunes identificadas y se muestran las distancias entre ellas, las cuales fueron calculadas con el algoritmo.

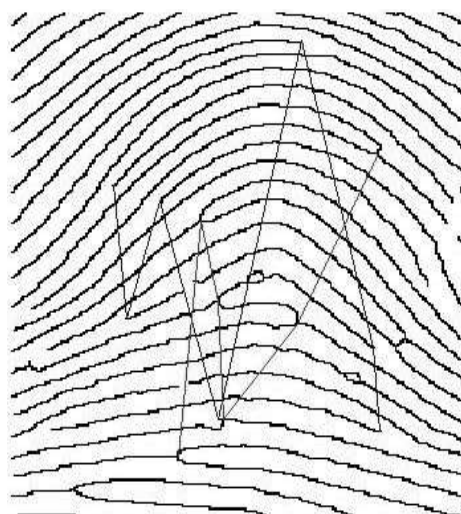


Figura 16 Imagen con distancias entre minucias

Conclusiones

Luego de experimentar la adquisición de huellas dactilares con sensores capacitivos se comprobó que estos sensores entregan una imagen de mejor calidad y resolución, comparados con los sensores ópticos y los escáneres, y al mismo tiempo son de menor tamaño y consumen menos energía, lo que permite que puedan ser usados en dispositivos portátiles o *stand alone*.

Los niveles de seguridad que se obtienen al usar sensores capacitivos son mayores, porque estos son menos vulnerables a las prótesis de huellas dactilares que pueden engañar los sensores ópticos, se realizaron pruebas con prótesis de cera y el sensor usado respondió satisfactoriamente, es decir reconoció que lo que se estaba usando para la autenticación era una prótesis, por lo que se negó la autenticación.

El algoritmo de reconocimiento diseñado nos ha permitido tener unas bajas tasas de error que se muestran al obtener una TFR del 8% (tasa de falso rechazo), que ocurre cuando se niega la identificación de una huella válida, y una TFA del 4% (tasa de falsa aceptación), que ocurre cuando se acepta la identificación de una huella inválida.

La calidad de las imágenes obtenidas depende en gran parte del protocolo de comunicación usado ya que dependiendo del protocolo varía el tiempo de captura de la imagen, para el protocolo USB es aproximadamente 2 segundos en cambio para el protocolo serial RS-232 es

de aproximadamente 18 segundos lo que genera que las imágenes queden distorsionadas y dificulta el correcto desarrollo del proceso, es por esto que es más recomendable usar el protocolo USB aunque con el protocolo serial se han obtenido resultados satisfactorios.

Agradecimientos

Agradecimientos muy especiales al Grupo de Electrónica de Potencia Automatización y Robótica (GEPAR), por el apoyo brindado durante el desarrollo del proyecto, y a las personas que hicieron parte de la base de datos para las pruebas realizadas.

Referencias

1. <http://www.veridicom.com>. Consultada el 20 de septiembre de 2005.
2. <http://www.heise.de/ct/english/02/11/114/>. Consultada el 20 de septiembre de 2005.
3. J. R Parker, *Algorithms for image processing and computer vision*. New York. John Wiley & Sons, Inc. 1997. pp. 176-218.
4. R. Colmenares del Castillo, *Identificación personal dactiloscopia. Instrucciones técnicas para registradores visitantes*. Bogotá. Librería Voluntad. 1949. pp. 38-59.
5. A. Vélez Ángel, *Criminalística general*. 2.^a ed. Bogotá. Temis. 1963. pp. 60-98.
6. N. Goodfellow. *Dactiloscopia: Sistema de clasificación de archivos*. Bogotá. Imprenta Nacional. 1951. pp. 15-38.