

Gestión y Reconocimiento Óptico de los Puntos Característicos de Imágenes de Huellas Dactilares

Angélica González Arrieta, José Gómez Marín, Luis Javier García Sánchez, Luis
Alonso Romero, Ángel Luis Sánchez Lázaro, Vivian López Batista

Universidad de Salamanca
angelica@usal.es

Abstract. Las huellas digitales humanas son únicas para cada persona y pueden ser utilizadas como un certificado de identidad. Su más famosa aplicación es la criminalística. De todas maneras, actualmente, la identificación automática de personas mediante la comparación de huellas dactilares se está expandiendo rápidamente a través de sistemas que controlan el acceso a espacios físicos, recursos de computación, de redes, cuentas bancarias, para registrar entrada y salida de empleados en empresas, para autorizar operaciones sensibles y para verificar y registrar indubitablemente la identidad de las personas cada vez que sea necesario. Centrándose en el ámbito policial, la característica física utilizada para la identificación es la huella dactilar ya que se considera uno de los métodos más seguros y asequibles y, por tanto, ampliamente utilizado.

Un sistema automático de identificación dactilar o AFIS (Automated Fingerprint Identification System), es un sistema automatizado de identificación de impresiones dactilares, aunque realmente no son capaces de identificar, solamente comparan y buscan similitudes. Los AFIS son los únicos sistemas de identificación que funcionan con grandes poblaciones. Adicionalmente a su funcionalidad de realizar verificaciones 1:1, los AFIS clasifican las impresiones dactilares en función a las topologías dactilares y cuentan con motores de procesamiento especializados que les permiten repartir la carga de trabajo en varios procesos [5].

En el pasado, el proceso informatizado de reconocimiento de huellas dactilares necesitaba el uso de importantes y costosos medios materiales. Ello limitaba su uso a aplicaciones específicas y a organismos muy seleccionados que solían disponer de los medios necesarios (Policía Científica, Judicial, Ejército, control de acceso de alta seguridad). Hoy en día, los microprocesadores y, el software disponibles poseen la potencia adecuada para procesos de este tipo, y su coste es cada vez más reducido, por eso, a día de hoy, cualquier institución, ya sea privada o pública, se puede costear un sistema AFIS para aumentar la seguridad en un lugar de trabajo o en un hogar, considerando además, que los AFIS son los sistemas biométricos de menor coste.

Una huella dactilar cualquiera, es la representación de la morfología superficial de la epidermis de un dedo, ésta posee un conjunto de líneas que, en forma global, aparecen dispuestas en forma paralela. Sin embargo, estas líneas se intersectan y a veces terminan en forma abrupta. Los puntos donde éstas terminan o se bifurcan se conocen técnicamente como puntos característicos. Para concluir si dos huellas dactilares corresponden o no a la misma persona se lleva a cabo un procedimiento que comienza con la clasificación de la huella dactilar y termina con la correspondencia o comparación de los puntos característicos de ambas huellas. La clasificación de huellas corresponde a un análisis a escala "gruesa" de los patrones globales de la huella que permite asignarla a un conjunto predeterminado o clase, lo que se traduce en una partición de la base de datos a ser revisada. Por otro lado, la correspondencia de huellas lleva a cabo una comparación a escala "fina" de las huellas dactilares a partir de los vectores de características resultantes de representar la geometría de cada uno de los puntos característicos. En otras palabras, la correspondencia de huellas dactilares consiste en encontrar el grado de similitud entre dos vectores de características cuyas componentes representan a los puntos característicos de cada huella [6],[7].

Las principales dificultades en el proceso de correspondencia son:

1. En una imagen de calidad hay alrededor de 70 a 80 puntos característicos de promedio, cantidad que contrasta abiertamente con las presentes en una imagen latente o parcial cuyo valor promedio es del orden de 20 a 30.
2. Hay traslaciones, rotaciones y deformaciones no lineales de las imágenes que se heredan a los puntos característicos.
3. Aparecen puntos característicos espurios, mientras otras verdícas desaparecen.
4. La base de datos puede ser muy grande.
5. No existe un método de comparación que entregue una coincidencia exacta entre las características de la imagen de entrada y las pertenecientes a la base de datos. Por eso siempre es aconsejable la supervisión humana como proceso final.

Los pasos para el procesamiento de la huella dactilar por un sistema automatizado de identificación de impresiones dactilares son:

Mejora de la imagen: Este proceso consiste en eliminar las zonas confusas de la imagen original de la huella, llamadas ruido, dejando sólo zonas con información de máxima fiabilidad. Se detecta también la ausencia de huella dactilar. Previamente a esta fase se puede contemplar una fase irrelevante de adquisición de la imagen. Dentro de esta fase cabe destacar entre otras:

Binarización: Se pasa la imagen original en tonos de gris a blanco y negro, reconstruyendo posibles cortes y mejorando la calidad global de la imagen.

Adelgazamiento: Con este proceso todas las crestas de las líneas dactilares tienen el mismo grosor (1 píxel), haciendo que sean más fácilmente identificables los puntos característicos de la huella.

Extracción de puntos característicos: A partir de la imagen adelgazada, el sistema es capaz ahora de detectar y extraer la posición exacta de los puntos característicos. Dentro de esta etapa cabe destacar:

Construcción de un índice o vector: Este es el proceso final que mediante algoritmos matemáticos completa la creación de un índice matemático, el cuál constituye la esencia de la huella dactilar analizada, según las características consideradas, almacenándolo en forma de fichero.

Identificación y verificación: Una vez que se tienen el índice o vector de muchas huellas el sistema es capaz de realizar búsquedas 1:1 para verificar la identidad de una persona o 1:N para identificarla.

El proceso de extracción de los puntos característicos es el proceso principal que completa la obtención de la "firma" de la huella. De una imagen de dactilar previamente procesada, se extrae, aplicando diferentes algoritmos, una estructura de datos, la esencia de dicha huella [8].

Aunque existen muchos tipos de puntos característicos, en general sólo es necesario fijarse en algunos, ya que otros pueden llevar a confusión, debido a su ambigüedad. Para contabilizar dichos puntos que se extraerán después, primero habrá que generar una cuadrícula de un tamaño de cuadro especificado. Para que el sistema AFIS pueda generar la cuadrícula el usuario deberá introducir de forma manual donde está situado el centro exacto de la huella. A partir de ahí se podrá generar una cuadrícula que discrimine aquellos cuadros donde no hay imagen de la huella por debajo, para que estos cuadros no cuenten a la hora de generar una posibles estadísticas, ésta son las llamadas morfologías nulas. Para discriminar las zonas donde hay huella de las zonas donde no hay se utilizará la máscara de la huella.

Con la cuadrícula de la huella todo punto que se extraiga de una huella podrá ser determinada su posición de dos formas. La primera de ellas, y la más lógica, es la de determinar la posición de un punto por la cuadrícula que ocupa, identificando dicha cuadrícula por su posición en el eje X y en el eje Y. Para que todo punto esté identificado de manera única por esta técnica se elige una rejilla de cuadrículas lo suficientemente pequeña para que cada cuadrícula sólo pueda albergar un punto. Hay que tener en cuenta que hacer una cuadrícula pequeña, a la hora de generar y manejar, es costosa en tiempo de computación. Para determinar la posición de un punto con esta técnica, únicamente hay que mapear la posición del punto en píxels absolutos de la imagen de la huella, con respecto al centro de la huella teniendo en cuenta el tamaño de la cuadrícula convertido en píxels. Se podría pensar que, en vez de esta técnica que utiliza una cuadrícula con un centro, se podría utilizar directamente los píxels de la huella y la posición "x" e "y" dentro de dicha matriz de píxels. Esto no podría ser llevado a cabo, debido a que una misma huella puede ser capturada en diferentes mo-

mentos con imágenes de diferente tamaño y además, aunque tuviesen el mismo tamaño todas las imágenes de las huellas podría ocurrir que entre una y otra imagen de la misma huella, un dactilograma estuviera un poco desplazado de una imagen a otra, lo que conllevaría unas consecuencias fatales a la hora de determinar la posición de un punto, ya que no habría una forma de poder determinar si dos puntos ocupan la misma posición real dentro de una misma huella con imágenes diferentes. Esto se ve paliado con la cuadrícula con centro, ya que aunque la imagen estuviera desplazada, el centro establecido por el dactiloscopista también estaría desplazado en el mismo grado y los puntos tendrían la misma posición.

Esta técnica también tiene ciertos puntos en su contra, el más importante es que la piel es flexible y dependiendo de la presión hecha por un dedo en uno u otro momento puede dejar una huella más o menos ancha o estrecha. Esto puede hacer, si la cuadrícula es lo suficientemente pequeña, que un punto pueda estar localizado en cuadrantes diferentes según la presión hecha por el usuario.

Para solucionar este punto negativo se puede utilizar también una medida totalmente relativa a la morfología de la misma huella, esta forma de determinar la posición de un punto es la que cuenta el número de crestas que hay entre la cresta que presenta el punto característico y el centro de la huella. Para realizar esto de manera técnica se crea una recta imaginaria entre la posición del punto característico y el centro mismo de la huella. A partir de la pendiente de la recta se puede determinar cada posición y píxel de la recta para analizar si es blanco o negro en la imagen binarizada de la huella, la cuál es más fiable. En dicho recorrido se van contando las series blancas y negras que se van encontrando, se determina que una serie es blanca o negra si está formada por dos o más píxeles de ese color seguidos. Al contabilizar los cambios entre una serie y la siguiente del mismo color se puede determinar con gran exactitud el número de crestas que hay entre un punto característico y el centro de la huella. Esta técnica sirve como complemento de la anterior, debido a que es posible que varios puntos característicos estén situados el mismo número de crestas del centro y de esta forma no se puede identificar de manera absoluta y única un punto por su posición, aunque la distribución de todos los puntos y su número de crestas al centro es única para cada huella y cada persona.

La comparación directa entre la imagen de la huella a ser identificada y las numerosas imágenes almacenadas en una base de datos, no servirían para una comparación confiable, debido a su alta sensibilidad a los errores (Ej. Ruidos en la imagen, áreas de la huella dañadas, o diferentes posiciones en la postura del dedo, ángulos de orientación o deformaciones del dedo durante el proceso de toma de imagen). Una solución avanzada a este problema es extraer características de los llamados puntos característicos a partir de la imagen de la huella, y comparar entre estos conjuntos de características. Esta solución requiere de sofisticados algoritmos para el procesamiento confiable de la imagen de la huella, eliminación del ruido, extracción de puntos característicos, tolerancia a rotación y traslación, etc. Al mismo tiempo, los algoritmos deben ser tan rápidos y eficientes como sea posible para garantizar su uso en aplicaciones con alta demanda.

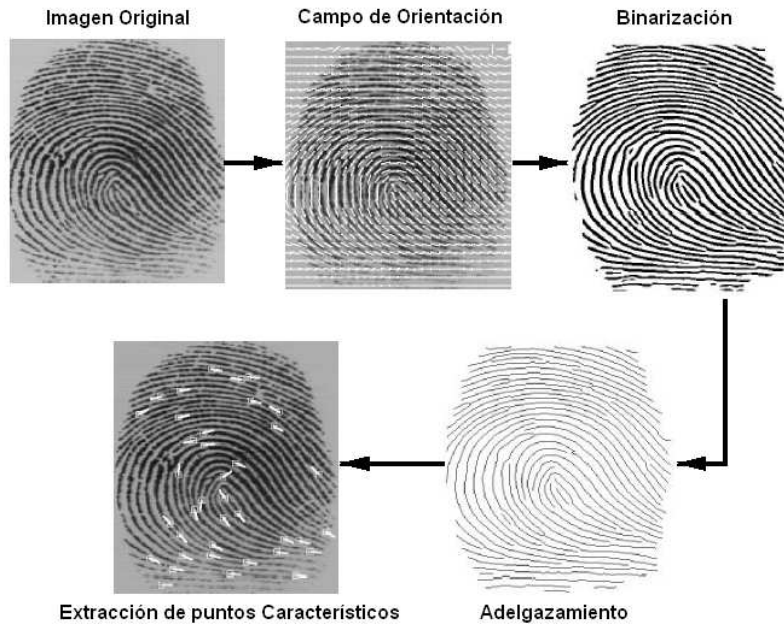
La extracción de puntos característicos, es por tanto, el proceso final que completa la obtención de la plantilla de la huella, o patrón biométrico dactilar. De una imagen previamente tratada, se extrae, aplicando sofisticados algoritmos, una plantilla de datos, un modelo matemático no reversible, con las siguientes características:

- Mínima ocupación de memoria, típicamente entre 300 y 800 octetos.
- Cifrado, la estructura de la plantilla garantiza absoluta seguridad.
- Mecanismos de inserción y búsqueda ultra rápidos.

La firma de puntos característicos que resulta, caracterizando la imagen dactilar, está basada en una cantidad suficiente de puntos característicos fiables de las crestas. Por cantidad suficiente, hay que referirse a un número mínimo de puntos característicos necesarias para proceder a comparaciones eficaces entre imágenes dactilares. La experiencia sitúa este mínimo en 15 puntos característicos. Por puntos característicos fiables, se designa a esos puntos característicos no generados por ruidos durante la sesión de escaneo o por alteraciones temporales de la imagen en sí (heridas recientes, desgaste, etc...). Con un número pequeño de puntos característicos (15 ó 20) correctamente localizados, es posible identificar una imagen entre millones.

La extracción en sí de puntos característicos es un área en la que la investigación es continua y a día de hoy se puede llevar a cabo con diversas técnicas:

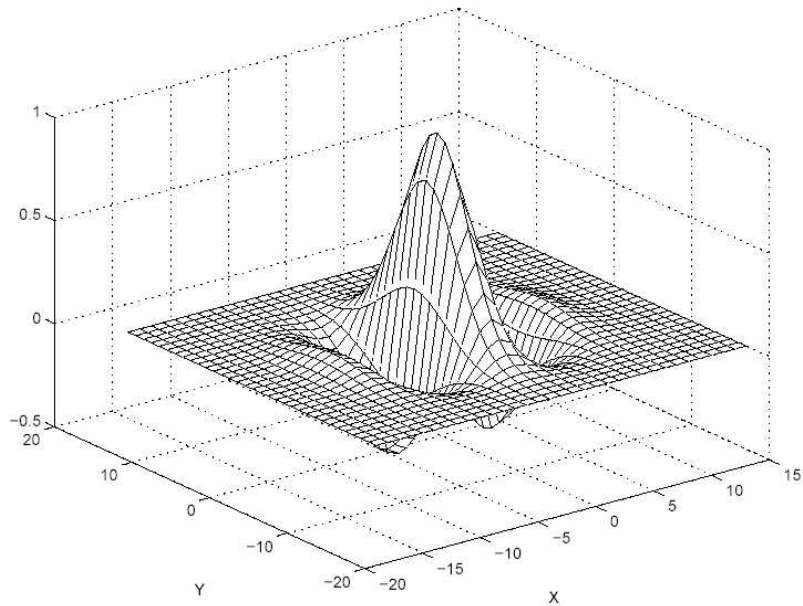
1. **Extracción de puntos característicos desde la imagen de la huella preprocesada.** En esta técnica se apuesta por hacer un preprocesado de la huella antes de detectar las características de la misma. Una vez hecho esto se buscan los patrones a identificar sobre la huella preprocesada, en la cuál la anchura de las crestas es de un píxel. El preprocesamiento de la huella hace que el sistema de extracción pueda trabajar con huellas con un amplio rango de calidades, el precio que se paga es el tiempo en hacer este preprocesado, pero al utilizar algoritmos eficientes esta tarea no supone un peso excesivo al proceso global. Esta es la técnica más clásica y típica dentro de la extracción de puntos característicos, se puede mejorar mediante la utilización de heurísticas [9],[10].



Pasos de la extracción de puntos característicos de la técnica clásica

2. **Extracción de los puntos característicos sobre la propia imagen de la huella en escala de grises.** En esta técnica se aboga por realizar la extracción sobre la propia huella y no sobre la imagen adelgazada o mejorada de la misma. Esto presenta muchos más inconvenientes y hace que la extracción sea más lenta, inexacta y dependiente de la calidad de la huella, ya que con las fases de ecualización, binarización, adelgazamiento y los diferentes filtros y operaciones de la huella se consigue paliar en gran medida la baja calidad de algunas huellas adquiridas. Además trabajando directamente sobre la huella en escala de grises se detectarán un gran número de puntos característicos falsos y habrá otras muchas auténticas que no se detecten, este proceso de extracción además clasifica la distribución de los puntos según la posición “x” e “y” del mismo en la imagen de forma única, esto hace que la identificación pueda ser totalmente incorrecta debido a que es posible que se tengan dos imágenes de una misma huella con tamaños de imagen (ancho y alto) distintos, por lo que el sistema no podría identificar dicha huella. Además esto puede ser muy común si se encuentra una huella en un escenario de un crimen y se adquiere con unas dimensiones indeterminadas o que no siempre serán las mismas.
3. **Extracción de los puntos característicos mediante un banco de filtros de Gabor.** Esta es una técnica bastante novedosa y utiliza una extracción de los puntos característicos de las huellas dactilares basada en un banco de filtros Gabor. Esta técnica es usada para capturar la infor-

mación útil en las bandas de los canales de la imagen y descomponer la información en componentes ortogonales en términos de frecuencias espaciales. Esta técnica presenta unas buenas características de precisión, pero en cuanto a la velocidad en la extracción presenta unos pobres resultados, siempre peores que las técnicas de extracción más típicas y clásicas.



Filtro Gabor con orientación 0° y tamaño de la máscara 33x33

4. **Extracción de los puntos característicos mediante lógica borrosa, redes neuronales o una combinación de ambas.** En el ámbito de la lógica borrosa se trata de dar toda una serie de valores lógicos a las diferentes escalas de grises que hay entre el blanco y el negro. Sobre esta representación lógica de la huella trabajaría la red neuronal que buscaría los patrones a reconocer dentro de toda la imagen de la huella.

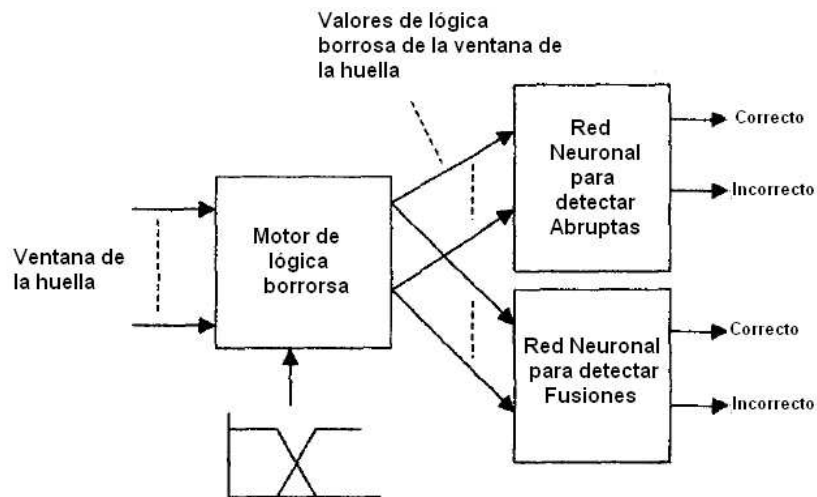


Diagrama de bloques de un sistema de lógica borrosa y redes neuronales

Esta técnica también es muy dependiente de la calidad de la huella al trabajar sobre la misma imagen en escala de grises además paga unos tiempos de extracción superiores como se comprobó mediante una implementación de la misma.

Después de analizar de todas las técnicas de extracción de puntos característicos se recomienda la técnica clásica para implementar un AFIS actualmente. Esta elección está basada en que la técnica clásica a día de hoy es de las más rápidas a la hora de extraer los puntos característicos, y la rapidez es fundamental en este proceso. Además aunque puede presentar un porcentaje de acierto algo menor que otras técnicas en algunos puntos concretos, debido a que en el preprocesamiento se puede perder cierta información, esta disminución de acierto es poco significativa y permite trabajar con garantías con un rango de calidades de huellas más amplio que otras técnicas.

Referencias

1. Arsaute, Gabriel Adrián; Tutores: Nasisi, Óscar Herminio; Martín, Marcelo "Reconocimiento de características en huellas dactilares para la identificación humana". Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Ingeniería. Instituto de Automática. 1997.
2. Beavan, Colin. "Huellas dactilares. Los orígenes de la dactiloscopia". Traducción de Ismael Attrache. Editorial ALBA, 1990.
3. Vela Arambarri, Manuel. "Identificación y Técnica Policial". Dirección General de Seguridad, Escuela General de Policía (Grado Profesional), 1943.

4. La reseña policial: Lofoscopia y Dactiloscopia [en línea]. Cuerpo Nacional de Policía de España. Policía Científica. <[http://www.terra.es/personal7/hispapolis/pag\(aa\).htm](http://www.terra.es/personal7/hispapolis/pag(aa).htm)> [Consulta: 26 agosto 2003].
5. AFIS (Automated Fingerprint Identification Systems) [en línea]. Página principal de los sistemas AFIS. Listado de sitios de huellas dactilares para el cumplimiento de la ley, otros sitios relacionados del gobierno y todas las compañías manufactureras de AFIS y sistemas relacionados. <<http://onin.com/fp/afis/afis.html>> [Consulta: 7 septiembre 2003].
6. Reseña sobre Lofoscopia y Dactiloscopia, sistema dactiloscópico español, formulación y subformulación .<<http://www.geocities.com/ecudalase/lofoscopia.html>> [Consulta: 7 agosto 2003].
7. Zeelenberg, A.J. Presidente del GTEIHD. Jefe del Departamento Nacional de Dactiloscopia. Métodos de identificación de huellas dactilares [en línea]. Grupo de trabajo europeo de INTERPOL sobre identificación de huellas dactilares (GTEIHD). Países Bajos.<<http://www.interpol.int/public/Forensic/fingerprints/WorkingParties/IEEGFI/ieegfiEs.asp>> [Consulta: 12 agosto 2003].
8. La identificación por huella dactilar (Prodac + C Fits) [en línea]. <<http://www.icaes.com/prodac/dossier.htm>> [Consulta: 29 septiembre 2003].
9. CxImage [en línea]. Es una clase para manejar de manera virtual todo tipo de imágenes. Es posible cargar, guardar, mostrar y transformar imágenes de manera rápida y sencilla. <<http://www.xdp.it/cximage.htm>> [Consulta: 1 octubre 2003].
10. GDI+ [en línea]. Microsoft Windows GDI+ es un API basado en clases para C/C++. GDI+ potencia la manipulación de gráficos e imágenes del GDI tradicional, ya que es la versión avanzada de la interfaz de dispositivo gráfico (GDI) de Windows. GDI+ está diseñada para proporcionar un alto rendimiento y facilidad de uso. Admite gráficos en 2-D, tipografía e imágenes.<<http://msdn.microsoft.com/library/default.asp?url=/library/enus/gdicpp/GDIPlus/GDIPlus.asp>> [Consulta: 1 octubre 2003].