

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

RECONOCIMIENTO BIOMÉTRICO BASADO EN IMÁGENES DE HUELLAS PALMARES

Ingeniería de Telecomunicación

María Mérida Aguilera
Marzo 2012

RECONOCIMIENTO BIOMÉTRICO BASADO EN IMÁGENES DE HUELLAS PALMARES

AUTOR: María Mérida Aguilera
TUTOR: Julián Fierrez Aguilar



Área de Tratamiento de Voz y Señales
Dpto. de Ingeniería Informática
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid
Marzo 2012

Resumen

En este proyecto se estudia, implementa y evalúa un sistema automático de reconocimiento basado en imágenes de huellas palmares. Concretamente, se utiliza la información de la textura de la huella palmar para extraer un vector de características que pueda determinar la identidad de un usuario. Se orientará el sistema hacia una aplicación del tipo de un «control de acceso»; donde las huellas palmares pueden alcanzar una buena posición dentro del mercado. El rendimiento, la fiabilidad y un reducido tiempo de respuesta del sistema para una población de tamaño medio son los principales objetivos a alcanzar en este proyecto.

Para lograr este objetivo, se estudian los sistemas de reconocimiento de huellas palmares que han sido propuestos en la literatura. Por tanto, una revisión del estado del arte supone la primera parte de este proyecto. Dentro de los sistemas de reconocimiento, se selecciona uno de los artículos donde se utiliza la textura como principal característica para realizar la tarea de reconocimiento. Éste será el artículo de referencia, a partir del cual comienza a desarrollarse el sistema.

Finalizada la fase de desarrollo del sistema, se realizan una serie de experimentos con el objetivo de ajustar los parámetros del mismo. Estos experimentos dan lugar al sistema final. Posteriormente, los «experimentos de evaluación» miden el rendimiento del sistema bajo determinadas circunstancias. Finalmente, se presentan las conclusiones y se proponen futuras líneas de trabajo.

Palabras Clave

Biometría, sistema biométrico, reconocimiento biométrico de huellas palmares, procesamiento de imágenes, filtro de Gabor, características basadas en textura.

Abstract

This M.Sc Thesis presents the study, implementation and evaluation of a Palmprint based automatic recognition system. In particular, texture information is used to extract a feature vector that helps to determine the identity of a user. The system is thought to work in commercial applications such as an «access control», where palmprints can achieve a good market position. The performance, reliability and a low response time with an average size population will be the main objectives of this project.

In order to achieve this goal, the main palmprint recognition systems proposed in literature have been studied. As a result, a review of the state of art in palmprint recognition forms the first block of this document. Secondly, one of the studied articles has been selected from among those recognition systems based on texture. This «reference article» help us to begin developing the initial system.

In the following step, system parameters are adjusted through some «development experiments». These experiments will produce the final system. Then, performance and reliability of the overall system are measured through some «evaluation experiments». Finally, we present the conclusions and based on them, some future lines to continue working on biometric palmprint recognition.

Key words

Biometrics, biometric system, palmprint biometric recognition, image processing, Gabor filter, features based on texture.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría dar las gracias a mi tutor, Julián Fierrez, por guiarme siempre durante la realización de este proyecto, le agradezco también el tiempo y esfuerzo que me ha dedicado. A Javier Ortega le agradezco enormemente la oportunidad que me brindó de formar parte del ATVS e iniciarme en el mundo de la investigación. Y al resto de ATVSianos, en especial a Pedro y Rubén, les doy las gracias por echarme una mano siempre que lo he necesitado. Agradezco también a todos los profesores que he tenido, desde el colegio hasta la universidad, por lo que cada uno ha aportado en mi educación, consiguiendo que hoy pudiese llegar hasta aquí.

La entrega de este proyecto simboliza el fin de cinco años compartiendo momentos inolvidables. Han sido inolvidables porque cada uno de vosotros ha aportado algo que ha hecho especial el camino. Gracias a mis chicas: Nerea, Rubi y Marta; y a mis chicos: Borja, Chema, Chuchi, Chuso, Cube, David, Gon, Jaime, Javi, Muse, Pedro, Unai y Win. Gracias por hacerme llorar de la risa incluso cuando nada podía ir a peor. Quiero mencionar también a los que empecé a conocer demasiado tarde, porque si retrocediera me acercaría a vosotros desde el primer día, en especial a Pablo y Sergio; y por supuesto, al más Grande.

Diego, lamento comunicarte que me resulta imposible ponerte en «Desagradecimientos» (aunque me cueste una cena..), porque no voy a olvidar tu apoyo y tus consejos. Gracias por todo lo que me has ayudado, sabes que siempre me sentiré en deuda contigo. A mis amigos de toda la vida; en especial a ti pequeña (demasiada paciencia tienes, rodeada de ingenier@s...) Y a mis queridos aloheños, por pasar con vosotros los mejores momentos de cada año.

Y sobretodo gracias a mis padres por enseñarme todo lo que saben, ayudarme todo lo que pueden, darme todo lo que tienen y quererme tanto como saben. Este proyecto es el fruto de vuestro esfuerzo. A mi hermana, por estar ahí en lo bueno y en lo malo. Y gracias a mi gran familia «Aguilera», a quien realmente me siento orgullosa de pertenecer.

Por último, te dedico este proyecto a tí, abuela, por ser mi modelo de tesón y coraje.

Gracias a todos.

Índice general

| | |
|--|-----------|
| Índice de figuras | IX |
| Índice de cuadros | XI |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Motivación del proyecto | 1 |
| 1.2. Objetivos y enfoque | 2 |
| 1.3. Metodología y plan de trabajo | 2 |
| 1.4. Organización de la memoria | 3 |
| 2. Introducción a la biometría | 5 |
| 2.1. Características de los rasgos biométricos | 5 |
| 2.2. Rasgos biométricos | 6 |
| 2.3. Sistemas biométricos | 8 |
| 2.3.1. Modos de funcionamiento de un sistema biométrico | 9 |
| 2.3.2. Evaluación del rendimiento | 10 |
| 2.3.3. Sistemas biométricos multimodales | 12 |
| 2.3.4. Aplicaciones de los sistemas biométricos | 13 |
| 2.3.5. Aceptación social y privacidad | 13 |
| 3. Sistemas de reconocimiento de huella palmar | 15 |
| 3.1. Introducción | 15 |
| 3.2. Historia, nacimiento y evolución | 16 |
| 3.3. La huella palmar | 16 |
| 3.4. Sistemas biométricos de huella palmar según su aplicación | 17 |
| 3.5. Etapas de un sistema biométrico de huella palmar | 18 |
| 3.5.1. Adquisición de huellas palmares | 18 |
| 3.5.2. Pre-procesado | 19 |
| 3.5.3. Extracción de características y métodos de comparación | 21 |
| 3.6. Comparativa de métodos | 22 |

| | |
|--|-----------|
| 4. Sistema propuesto: Diseño y desarrollo | 25 |
| 4.1. Adquisición | 26 |
| 4.2. Pre-procesado | 27 |
| 4.2.1. Segmentación | 27 |
| 4.2.2. Generación del sistema de coordenadas | 28 |
| 4.2.3. Selección de la región de interés | 30 |
| 4.3. Extracción de características | 31 |
| 4.3.1. Filtrado de Gabor | 31 |
| 4.3.2. Representación de las características obtenidas | 33 |
| 4.4. Método de comparación | 35 |
| 5. Experimentos realizados y resultados | 37 |
| 5.1. Base de datos | 37 |
| 5.2. Experimentos de desarrollo | 38 |
| 5.2.1. Evaluación del sistema inicialmente implementado | 39 |
| 5.2.2. Selección del tamaño de la región de interés. | 40 |
| 5.2.3. Selección del factor de desplazamiento al calcular el score. | 41 |
| 5.3. Experimentos de evaluación | 43 |
| 5.3.1. Estudio de la variabilidad inter-sesión. | 43 |
| 5.3.2. Estudio de un proceso de registro con varias realizaciones por usuario. . . | 45 |
| 6. Conclusiones y trabajo futuro | 49 |
| 6.1. Conclusiones | 49 |
| 6.2. Trabajo Futuro | 51 |
| Anexos | 55 |
| A. Presupuesto | 55 |
| B. Pliego de condiciones | 57 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| 2.1. Comparativa entre las características de distintos rasgos biométricos. Información de la comparativa obtenida de [1]. | 6 |
| 2.2. Funcionamiento básico de un sistema biométrico. | 9 |
| 2.3. Ejemplo de distribución y densidad de probabilidad de usuarios válidos e impostores | 11 |
| 2.4. Ejemplo de curva DET (Detection Error Tradeoff) | 11 |
| 2.5. Ejemplo de curva CMC (Cumulative Match Characteristic) | 12 |
| 3.1. Ejemplos de huellas palmares | 15 |
| 3.2. Ejemplos de características utilizadas en huella palmar: (a) Líneas principales, (b) Minucias y punto delta de una huella palmar. | 17 |
| 3.3. Ejemplo de huella latente y huella de un sistema comercial. | 18 |
| 3.4. Ejemplos de dispositivos de adquisición de huella palmar: cámara digital, escáner sin topes y escáner con topes. | 19 |
| 3.5. Ejemplos de imágenes originales obtenidas por distintos dispositivos de captura y parte central de la palma (región de interés extraída) a partir de las mismas . . | 20 |
| 3.6. Esquema general del preprocesado de una imagen hasta obtener la región de interés. Imágenes obtenidas de [2]. | 20 |
| 4.1. Arquitectura modular del sistema de reconocimiento desarrollado. | 25 |
| 4.2. Ejemplo de imágenes de « <i>PolyU Palmprint Database</i> », la base de datos utilizada. | 26 |
| 4.3. Diagrama de flujo de la etapa de pre-procesado del sistema desarrollado. | 27 |
| 4.4. Proceso de segmentación para una imagen de ejemplo. | 28 |
| 4.5. Imágenes de ejemplo de palmas de dos usuarios (en la primera fila pertenecen al usuario n° 65, y en la segunda al usuario n° 383). | 28 |
| 4.6. Representación del procedimiento utilizado para la generación del sistema de coordenadas: (a) Ajuste de la imagen a la palma, (b) Suavizado, (c) Detección de separación entre dedos y (d) Cálculo de centroides y punto medio. | 30 |
| 4.7. Representación de la etapa de selección de la región de interés durante el pre-procesado. | 31 |
| 4.8. Representación de la parte real e imaginaria del filtro de Gabor utilizado en espacio bidimensional y tridimensional. | 32 |
| 4.9. Características extraídas para 3 usuarios de ejemplo. (a) Imagen preprocesada. (b) Característica Real. (c) Característica Imaginaria. | 34 |

| | |
|---|----|
| 4.10. Salida de la etapa de extracción de características: máscara, característica real, característica imaginaria. | 34 |
| 5.1. Evaluación del rendimiento del sistema inicialmente implementado: (a) Curva DET y (b) Distribución de los scores. | 39 |
| 5.2. Ejemplo de una muestra para tamaños de la imagen preprocesada: 100x100, 128x128, 150x150, 160x160 (de izda a dcha). | 40 |
| 5.3. Comparación entre el rendimiento del sistema propuesto utilizando diferentes tamaños de la región de interés. | 41 |
| 5.4. Comparación entre el rendimiento del sistema propuesto utilizando diferentes valores para el factor de desplazamiento. | 42 |
| 5.5. Estudio de la disminución del rendimiento por factores de variabilidad inter-sesión. | 44 |
| 5.6. Cambio en las condiciones de iluminación del sensor entre sesiones: imágenes preprocesadas de huellas palmares de distintos usuarios. | 45 |
| 5.7. Estudio de la mejora en el rendimiento mediante un proceso de registro con varias realizaciones por usuario. Combinación a nivel de score escogiendo la media de los mismos. | 47 |
| 5.8. Estudio de la mejora en el rendimiento mediante un proceso de registro con varias realizaciones por usuario. Combinación a nivel de score escogiendo el máximo de los mismos. | 47 |

Índice de cuadros

| | |
|--|----|
| 3.1. Características de algunos algoritmos empleados para el reconocimiento de huella palmar; según el tipo de conjunto de características seleccionado y el método de clasificación empleado. | 22 |
| 3.2. Comparación del rendimiento de una selección de sistemas de reconocimiento de huella palmar. | 23 |
| 4.1. Parámetros del Filtro de Gabor que utiliza el sistema desarrollado. | 33 |
| 5.1. Características básicas de la base de datos PolyU Palmprint. | 38 |
| 5.2. Configuración experimental durante los experimentos de desarrollo. | 38 |
| 5.3. Parámetros del sistema final de reconocimiento de huella palmar. | 42 |
| 5.4. Configuración experimental para: <i>Estudio de la variabilidad inter-sesión</i> | 44 |
| 5.5. Configuración experimental para: <i>Estudio de un proceso de registro con varias realizaciones por usuario</i> | 46 |

1

Introducción

1.1. Motivación del proyecto

A partir de los años 60 comenzaron a desarrollarse los primeros sistemas automáticos de identificación basados en técnicas biométricas. En principio estas técnicas de reconocimiento tenían gran interés porque suponían una forma segura y sencilla de identificación de personas; lo que hacía posible abandonar los sistemas tradicionales que conllevaban riesgos de seguridad importantes (basados en tarjetas de identificación y/o contraseñas que podían ser perdidas, olvidadas o incluso sustraídas). Por estas razones, los sistemas biométricos han experimentado un enorme crecimiento y actualmente están presentes en multitud de escenarios: control de pasajeros en aeropuertos, autenticación de documentos, control de acceso a zonas restringidas, gestión y control de asistencia laboral en empresas, etc.

Los sistemas de reconocimiento biométrico usan características fisiológicas o de comportamiento propias de cada individuo para identificarlo, es decir, se reconoce al usuario por lo que *es* en lugar de por lo que *tiene* o *sabe* [1]. De esta forma, el objetivo de todos ellos será obtener, a partir de la captura de un rasgo biométrico, una representación de cada individuo que resulte lo suficientemente discriminante respecto a las de los demás usuarios del sistema; de modo que, mediante técnicas de reconocimiento de patrones, el sistema sea capaz de determinar la identidad del usuario que está intentando acceder al sistema o simplemente si el usuario está registrado o no en él, dependiendo del tipo de aplicación para la que se utilice.

Los rasgos biométricos que pueden utilizar estos sistemas se clasifican usualmente en «rasgos fisiológicos» y «rasgos de comportamiento o conducta». Los rasgos fisiológicos presentan una reducida variabilidad a lo largo del tiempo, pese a que su adquisición es más invasiva y requiere de la cooperación de los sujetos. Por contra, los rasgos de comportamiento resultan menos invasivos aunque la exactitud de la identificación es menor debido a la variabilidad de los patrones de comportamiento.

La **huella palmar** es el rasgo biométrico en el que se basa el presente proyecto. Se trata de un rasgo biométrico fisiológico de reducida variabilidad y gran aceptación que requiere cooperación de los sujetos para su adquisición. Al igual que el reconocimiento de huellas dactilares, la huella palmar se basa en la información de la textura que se presenta en ella.

La huella dactilar es el rasgo biométrico más utilizado en la actualidad. Uno de sus mayores problemas radica en su dificultad para la identificación de personas mayores o trabajadores manuales. Por otro lado, los sistemas biométricos de iris presentan grandes índices de precisión y fiabilidad; sin embargo, los dispositivos para la captura del iris son demasiado costosos. De este modo, un sistema biométrico basado en imágenes de la mano se convierte en una buena alternativa para aplicaciones comerciales, obteniendo un equilibrado balance entre rendimiento y facilidad de uso. Otra de las ventajas de la huella palmar es la facilidad con la que pueden extraerse las principales características (crestas y líneas principales) mediante imágenes de muy baja resolución (de ahí que los dispositivos de captura puedan resultar mucho más económicos). Al mismo tiempo, la superficie de una impresión palmar es mayor, contiene más información, que la de una huella dactilar; con lo que se resuelve el problema del bajo rendimiento que los sistemas de huella dactilar ofrecen para personas con pequeños cortes o cicatrices. Éstas son las principales razones que motivan la realización de este proyecto y las que han provocado un notable aumento del interés en huella palmar, siendo actualmente objeto de numerosos estudios de investigación.

1.2. Objetivos y enfoque

Este proyecto tiene como principal objetivo el desarrollo de un sistema de autenticación de personas basado en la información extraída de la textura de la palma de la mano. Para su realización se revisará el estado del arte en reconocimiento de huella palmar, estudiando más detalladamente aquellos sistemas basados en textura. Después se tomará como punto de partida uno de estos sistemas propuestos en la literatura. Para la realización de las pruebas se utilizará una única base de datos con 386 palmas, de forma que el sistema implementado deberá ser capaz de reconocer a un usuario de manera fiable dentro de una población de tamaño medio. De este modo, un control de acceso es una de las posibles aplicaciones donde puede ser utilizado el sistema desarrollado. Por otro lado, este tipo de aplicaciones requieren de reducidos tiempos de respuesta que obligan a disminuir la complejidad de los algoritmos en cada etapa del sistema.

El sistema implementado será una primera aproximación a los sistemas de reconocimiento basados en imágenes de huellas palmares, dentro del Área de Tratamiento de Voz y Señales (ATVS); de forma que los experimentos realizados tendrán como objetivo extraer conclusiones que sirvan para definir futuras líneas de investigación dentro del grupo.

1.3. Metodología y plan de trabajo

La realización de este proyecto se dividió en cuatro etapas:

- **Formación.** Donde se aprendieron nociones básicas en procesado digital de imágenes en MATLAB usando como referencia teórica y práctica el libro de [3]. Así mismo, se estudiaron conceptos básicos de biometría y sistemas biométricos. Más tarde, el estudio se concentró en los sistemas de reconocimiento biométrico basados en imágenes de huellas palmares mediante la lectura de publicaciones científicas internacionales. Esta etapa final de formación dio lugar a la síntesis sobre el estado del arte que se presenta en el Capítulo 2 de este documento.
- **Desarrollo.** En la etapa de desarrollo se implementaron los algoritmos que completan el sistema de reconocimiento objeto de este proyecto.

- **Experimentación.** Se seleccionaron los experimentos con los que se evaluó el sistema desarrollado, se ejecutaron, se extrajeron los resultados y las conclusiones de los mismos; que llevan a comprender las fortalezas y debilidades del sistema.
- **Escritura de la memoria.** Aunque ésta se ha realizado de forma progresiva durante la realización de todo el proyecto, la etapa que concluye el mismo consiste en la redacción final de este documento.

1.4. Organización de la memoria

Este documento está estructurado en 6 capítulos que se resumen a continuación.

Capítulo 1. Introducción. Se exponen los motivos que han impulsado el desarrollo de este proyecto así como los objetivos que se pretenden alcanzar.

Capítulo 2. Introducción a la biometría. Conceptos básicos de biometría (tipos de rasgos, características, etc.) y sistemas biométricos (arquitectura, modos de funcionamiento, evaluación del rendimiento y aplicaciones).

Capítulo 3. Sistemas de reconocimiento de huella palmar. Revisión del estado del arte en sistemas biométricos basados en imágenes de huellas palmares. Se estudian las particularidades de la huella palmar y las diferencias entre los sistemas según la aplicación sea comercial o forense. Por último, se profundiza en los principales algoritmos y métodos propuestos en la literatura de los sistemas orientados a aplicaciones del tipo de «controles de acceso». A partir de este estudio, se selecciona la metodología que se considera más conveniente y comienza a desarrollarse un sistema básico que será perfeccionado y evaluado mediante los experimentos realizados.

Capítulo 4. Sistema propuesto: Diseño y desarrollo. Describe detalladamente los aspectos del diseño del sistema de reconocimiento biométrico propuesto basado en huellas palmares. En este capítulo se explican las etapas, y los algoritmos utilizados en las mismas, desde que se adquiere una imagen de la huella palmar de un usuario hasta que se resuelve la identidad del mismo.

Capítulo 5. Experimentos realizados y resultados. Describe el marco experimental, procedimientos y protocolos, utilizados para la consecución de los experimentos llevados a cabo en este proyecto. Así mismo, se presentan los resultados obtenidos y se analizan con el objeto de poder extraer conclusiones útiles que permitan establecer futuras líneas de investigación.

Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro.

2

Introducción a la biometría

La biometría es la ciencia que estudia el reconocimiento de seres humanos de forma automática, utilizando para tal fin una o varias características fisiológicas o de comportamiento que resulten lo suficientemente discriminativas dentro de una población. El término «biometría» proviene de las palabras griegas «bios» (vida) y «metrón» (medida).

2.1. Características de los rasgos biométricos

Las características en las que se basa un sistema de reconocimiento biométrico de personas son comúnmente conocidas como «rasgos biométricos». Una posible clasificación de los rasgos biométricos los divide en:

- **Rasgos fisiológicos:** presentan una reducida variabilidad a lo largo del tiempo pero su adquisición requiere de la cooperación de los usuarios y es más invasiva. El iris, la huella dactilar o la geometría de la mano pertenecen a este grupo.
- **Rasgos conductuales o de comportamiento:** resultan menos invasivos pero experimentan una gran variabilidad (factores como el estado anímico, el cansancio o estrés de la persona pueden influir en la realización del rasgo biométrico) por lo que, en general, la exactitud de los sistemas basados en este tipo de rasgos será menor. La voz, la escritura o la forma de andar son algunos ejemplos de este tipo de rasgos.

Además, para que un rasgo biométrico pueda ser utilizado como base de un sistema de reconocimiento, debe cumplir siete requisitos básicos [1]. Éstos son:

1. **Universalidad:** está presente en todas las personas.
2. **Unicidad:** es diferente para cada individuo, es decir, tiene una capacidad discriminatoria entre personas.
3. **Permanencia:** permanece invariante a lo largo del tiempo.
4. **Mensurabilidad:** puede ser capturado y medido fácilmente mediante un proceso de adquisición que no resulte invasivo a los usuarios.

5. **Rendimiento:** puede dar lugar a un sistema de reconocimiento con baja tasa de error, alta velocidad y mínimo consumo de recursos.
6. **Aceptabilidad:** cuenta con un alto grado de aceptación social.
7. **Evitabilidad:** es difícilmente eludible mediante algún procedimiento fraudulento, por lo que da lugar a sistemas suficientemente seguros.

Sin embargo, no existe ningún rasgo biométrico conocido que cumpla completamente todos estos requisitos; por lo que la elección del mismo, se basará en las características propias de la aplicación en la que vaya a ser utilizado (ver Figura 2.1).

| | | Característica | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|----------------------|----------|-------------|----------------|-------------|---------------|--------------|-------|
| | | Universalidad | Unicidad | Permanencia | Mensurabilidad | Rendimiento | Aceptabilidad | Evitabilidad | |
| RASGO BIOMÉTRICO | <i>fi</i> sio | Cara | Alto | Bajo | Medio | Alto | Bajo | Alto | Alto |
| | | Geometría de la mano | Medio | Medio | Medio | Alto | Medio | Medio | Medio |
| | | Huella dactilar | Medio | Alto | Alto | Medio | Alto | Medio | Medio |
| | | Huella palmar | Medio | Alto | Alto | Medio | Alto | Medio | Medio |
| | | Iris | Alto | Alto | Alto | Medio | Alto | Bajo | Bajo |
| | | Oreja | Medio | Medio | Alto | Medio | Medio | Alto | Medio |
| <i>de</i> comportamiento | Dinámica de teclado | Bajo | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio | Medio | |
| | Firma | Bajo | Bajo | Bajo | Alto | Bajo | Alto | Alto | |
| | Forma de andar | Medio | Bajo | Bajo | Alto | Bajo | Alto | Medio | |
| | Voz | Medio | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Alto | Alto | |

Figura 2.1: Comparativa entre las características de distintos rasgos biométricos. Información de la comparativa obtenida de [1].

2.2. Rasgos biométricos

Existen actualmente numerosos rasgos biométricos que son objeto de estudio, algunos de los más habituales se resumen a continuación.

I. Fisiológicos



Cara. La cara es el rasgo biométrico que un ser humano utiliza de forma natural para reconocer a otra persona. Debido a este motivo, cuenta con una fuerte aceptación social. Además, su adquisición no resulta intrusiva, puede hacerse a distancia y sin cooperación por parte del usuario. Los sistemas de reconocimiento facial generan peor rendimiento que otros sistemas de reconocimiento de rasgos biométricos fisiológicos ya que requieren de condiciones de iluminación estables, un fondo uniforme, una posición del rostro fija respecto a la cámara y una expresión en la cara que no varíe significativamente entre distintas realizaciones. Su variabilidad con el paso del tiempo es otro de sus inconvenientes.



Geometría de la mano. La adquisición de una imagen de la mano puede realizarse por medio de un sencillo escáner. Una vez obtenido el contorno de la mano, se extraen una serie de medidas distintivas (como la longitud y grosor de los dedos, el tamaño de la palma, el perímetro, etc.). Los sistemas basados en este rasgo proporcionan buenos resultados en poblaciones de pequeño/mediano tamaño y requieren de muy poca cantidad de almacenamiento; por lo que son utilizados en aplicaciones como controles de acceso.



Huella dactilar. Una huella dactilar está compuesta por un conjunto de valles y crestas situado en la superficie de la punta de los dedos. Su alto grado de unicidad y su invarianza en el tiempo (desde el momento de su formación en el séptimo mes de gestación) ha posibilitado que haya sido uno de los rasgos más estudiados y extendidos. El reconocimiento dactilar se propuso desde finales del siglo XIX dentro del ámbito forense, y desde entonces ha avanzado enormemente en ese campo pero actualmente también puede encontrarse en numerosas aplicaciones comerciales.



Huella palmar. La huella palmar está formada por un patrón de crestas y valles de la misma forma que la huella dactilar, pero también por un conjunto de líneas principales. El área de una huella palmar es mucho mayor que el de una huella dactilar, resultando un rasgo altamente distintivo; pero, por otro lado, es necesario un sensor de mayores dimensiones. Tras el éxito de los sistemas de reconocimiento dactilar, la huella palmar ha suscitado un creciente interés en los últimos años. Se espera que la huella palmar alcance unas tasas de identificación comparables a las de los sistemas de reconocimiento dactilar, y mayores a los de reconocimiento mediante geometría de la mano.



Iris. Situado detrás de la córnea, el iris es una membrana circular y coloreada cuya textura permanece invariante a lo largo del tiempo y es distinta para cada individuo. Se trata de uno de los rasgos más distintivos, por lo que ha sido utilizado en aplicaciones de alta seguridad. Sin embargo, la adquisición del iris necesita sensores que resultan demasiado costosos para determinadas aplicaciones y requiere de un alto grado de cooperación de los usuarios, que deben posicionarse a unos pocos metros del sensor para su captura.



Oreja. El reconocimiento basado en la forma de la oreja suele realizarse mediante la selección de un punto de referencia en el interior de la misma y la distancia de éste a puntos característicos que forman el borde de la oreja y sus estructuras cartilagosas. A diferencia de la cara, la oreja se mantiene invariante con el paso del tiempo, no cambia su forma con la expresión y es menos sensible a cambios de iluminación. Un inconveniente es que puede estar oculta tras el pelo; donde se plantea como solución realizar la captura en la banda de infrarrojos.

II. De comportamiento



Dinámica del tecleo. Debido a que cada persona interacciona con el teclado de forma distinta, los sistemas de identificación basados en dinámica del tecleo pueden presentar una solución en casos sencillos de acceso a aplicaciones on-line. Se trata de un rasgo biométrico de baja unicidad y alta variabilidad, pero cuya adquisición no resulta intrusiva.



Firma. La firma ha sido tradicionalmente usada como medio de autenticación y, en este sentido, es el sistema de reconocimiento más aceptado. Su adquisición no resulta invasiva aunque requiere de la cooperación del sujeto. La forma con la que firmamos caracteriza a cada persona; sin embargo, la firma presenta variabilidad a corto y largo plazo. La aparición de dispositivos móviles con interfaz tipo puntero, dio lugar al reconocimiento basado en «firma manuscrita dinámica» donde, además de la forma de la firma, se utiliza información instantánea (como la duración de la misma, la velocidad o la presión) logrando implementar sistemas de reconocimiento con elevada tasa de acierto.



Forma de andar. Cada persona camina de forma diferente. Aunque este rasgo presenta baja unicidad y consigue tasas de acierto menores que otros rasgos de comportamiento, resulta una solución útil cuando se quiere identificar a un sujeto en una secuencia de vídeo (por ejemplo cuando se desea identificar a un criminal en una grabación de una cámara de seguridad).



Voz. La señal de voz codifica mediante sonidos, llamados «alófonos», el lenguaje hablado. Las distintas configuraciones del tracto vocal producen distintos sonidos. Al ser único el tracto vocal de cada persona, la señal de voz presenta características físicas invariantes que resultan suficientemente distintivas. En este sentido, podría clasificarse como un rasgo «fisiológico». Sin embargo, la señal de voz resultante también está influenciada por otros factores de comportamiento (como el estado emocional, patologías fonatorias o la edad) que no permanecen estables en el tiempo y dificultan la tarea de reconocimiento. Aún así, la voz es un rasgo biométrico ampliamente aceptado y juega un papel importante en aplicaciones telefónicas.

2.3. Sistemas biométricos

Un «sistema biométrico» permite determinar o verificar automáticamente la identidad de un individuo mediante técnicas de reconocimiento de patrones.

El primer paso para llevar a cabo la identificación/verificación del sujeto que se enfrenta al sistema biométrico consiste en la adquisición de su rasgo biométrico mediante un transductor que digitaliza el rasgo capturado. La calidad del mismo será de vital importancia puesto que repercute en todas las etapas sucesivas, y por tanto en el rendimiento total del sistema. Por este motivo, la captura requiere en algunas ocasiones de la cooperación del usuario, e incluso puede estar supervisada.

Tras un acondicionamiento de la señal, se realiza un «modelo de usuario» a partir de una serie de características o parámetros que el sistema biométrico considera discriminante en la

señal preprocesada. Este modelo de usuario es comparado con otro proveniente de una base de datos, generándose una puntuación que indicará la similitud entre ambos modelos. A partir de esta puntuación, se decide (en general mediante un umbral que el sistema tiene prefijado) si el modelo almacenado en la base de datos coincide o no con el del usuario en cuestión. La Figura 2.2 esquematiza las etapas básicas de un sistema biométrico como el que se ha descrito.

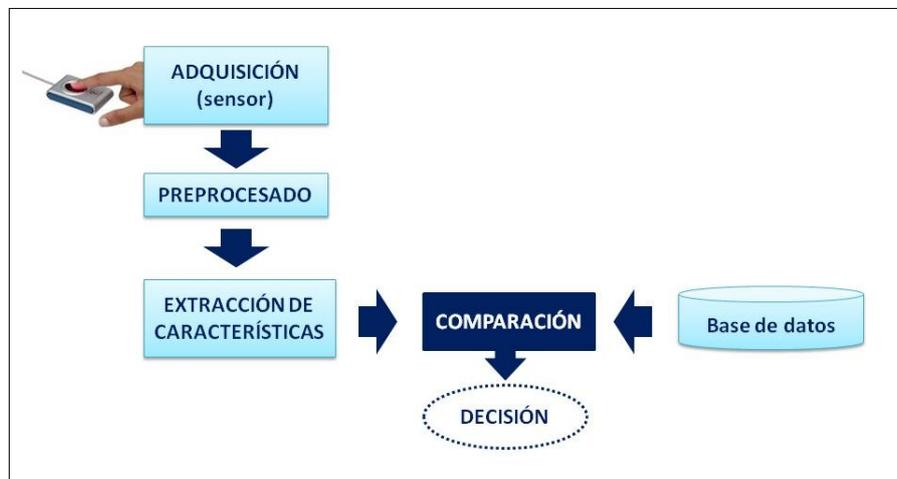


Figura 2.2: Funcionamiento básico de un sistema biométrico.

La base de datos del sistema biométrico que contiene todos los modelos de usuario se debe realizar con anterioridad. Es un proceso que se denomina «**Registro**». El registro de cada usuario tiene por objeto construir un modelo que lo caracterice, siendo necesario poseer una o varias capturas del rasgo biométrico del usuario.

2.3.1. Modos de funcionamiento de un sistema biométrico

Una vez se ha realizado el registro de todos los usuarios (esto es, existe al menos un modelo de cada uno de ellos), un sistema biométrico puede operar en los siguientes modos:

- **Verificación:** El usuario que se enfrenta al sistema de reconocimiento presenta su rasgo biométrico y se identifica. Posteriormente, se busca en la base de datos el modelo de usuario correspondiente a dicha identificación y se compara con el creado a partir de la realización actual. Es lo que se denomina «reconocimiento positivo» y requiere de una comparación «uno-a-uno». Con la puntuación de salida de la comparación, y a partir de un umbral, el sistema toma una decisión: se trata de un «usuario genuino» si es *quien dice ser* o bien de un «usuario impostor».
- **Identificación:** El sistema intenta determinar si el usuario, del que se ha capturado el rasgo biométrico, se encuentra en la base de datos, para lo cual se realiza una comparación contra todos los modelos de los usuarios registrados. Se trata de una comparación «uno-a-muchos». Como resultado se genera una lista de candidatos cuyas puntuaciones están ordenadas de mayor a menor; a menos que ninguna de las puntuaciones obtenidas haya alcanzado un umbral de similitud con el que se pueda afirmar que el usuario se encuentra registrado (en cuyo caso el sistema informará de que no ha encontrado ningún candidato para dicho usuario). El modo de identificación requiere de un coste computacional mucho más elevado que el modo de verificación. Por ello, es habitual que su uso se limite a aplicaciones en las que el usuario no quiera ser reconocido. En este caso se trata de «reconocimiento negativo» y únicamente puede realizarse mediante sistemas biométricos.

Los modos de verificación e identificación pueden implementarse en sistemas «online» u «offline». Los sistemas «online» capturan el rasgo biométrico y lo procesan en tiempo real; de esta forma, la velocidad será su requisito principal. Por otro lado, los sistemas «offline» trabajan con rasgos biométricos que ya han sido capturados previamente, y buscarán minimizar la tasa de error a costa de incrementar el tiempo de procesamiento. La aplicación para la que vaya a ser utilizado determina el tipo de sistema biométrico. Por ejemplo, se usan sistemas online en controles de acceso y sistemas offline para la identificación de criminales a partir de pruebas, como huellas, en el escenario de un crimen.

2.3.2. Evaluación del rendimiento

Para implementar un sistema automático de reconocimiento se necesitan mecanismos que evalúen la bondad y capacidad del sistema. Cuantificar el error que produce el sistema ayudará a su desarrollador a mejorarlo y a compararlo con otros ya implementados.

Un sistema de reconocimiento captura un rasgo biométrico, extrae sus características y forma un «modelo» que compara con otro u otros para evaluar si pertenecen o no a una misma persona. De esta forma, se requiere que rasgos biométricos de distintas personas sean muy distintos (lo que se denomina: «alta variación inter-clase») y que modelos generados a partir del rasgo biométrico de una misma persona sean muy parecidos (lo que se denomina: «baja variación intra-clase»). Sin embargo, existen factores que disminuyen la variación inter-clase y que aumentan la variación intra-clase, dando lugar a errores en el reconocimiento. Por ejemplo, un usuario que interactúe con el sensor de forma distinta o que experimente cambios de comportamiento o fisiológicos, puede hacer que el sistema genere modelos muy distintos a partir de un mismo rasgo biométrico, aumentando la variación intra-clase.

La salida de un sistema de reconocimiento es generalmente una puntuación o «score», fruto de la comparación de dos modelos, que cuantifica el grado de similitud entre los mismos. A partir de estas puntuaciones, se establece un «umbral» con el que el sistema decide si el usuario es «genuino» (si el score supera el umbral) o impostor (en caso contrario). Esta decisión da lugar a que se puedan cometer dos tipos de errores:

- El sistema detecta un usuario impostor siendo en realidad un usuario genuino. Esto ocurre cuando dos modelos pertenecientes a un mismo usuario generan una puntuación por debajo del umbral de similitud. Es lo que se denomina «**Falso rechazo**», FR.
- El sistema detecta un usuario genuino siendo en realidad un usuario impostor. Es decir, dos modelos pertenecientes a distintos usuarios generan una puntuación por encima del umbral de similitud. Es lo que se denomina «**Falsa aceptación**», FA.

El análisis y tratamiento de los errores se enfoca de forma distinta según el modo en que trabaje el sistema que se desee implementar.

Evaluación del rendimiento en sistemas en modo de verificación

Cuando se trabaja en este modo de operación, se utiliza la «Tasa de Falsa Aceptación» (FAR, *False Acceptance Rate*) y la «Tasa de Falso Rechazo» (FRR, *False Rejection Rate*). Se trata de la frecuencia con la que aparecen los errores descritos anteriormente. En la Figura 2.3(a) aparecen ambas tasas para cada puntuación o score. La tasa de falsa aceptación siempre decrece frente a la puntuación puesto que a medida que disminuye el umbral más probabilidad hay de que el sistema acepte a un usuario impostor. Por el contrario, la tasa de falso rechazo será creciente con el umbral ya que a mayor umbral, mayor posibilidad existe de rechazar a un usuario válido.

En un sistema ideal, las curvas FAR y FRR quedarían completamente separadas por el umbral escogido; pero en los sistemas reales ambas curvas se superponen, asumiendo siempre un error de falsa aceptación y otro de falso rechazo, que nunca podrán disminuir al mismo tiempo. El punto donde ambas tasas se igualan, $FAR=FRR$, se conoce como EER (Equal Error Rate) y puede utilizarse como referencia para comparar distintos sistemas. Sin embargo, es poco habitual que el punto de trabajo coincida con el EER, ya que el umbral se escoge en función del tipo de aplicación para la que se desarrolle el sistema. Por ejemplo, se utilizan umbrales bajos en algunas aplicaciones comerciales con el fin de que la tasa de falso rechazo disminuya y no resulte molesta para los usuarios (por ejemplo en dispositivos de uso personal) y umbrales altos en aplicaciones de alta seguridad, disminuyendo la probabilidad de que un usuario impostor sea aceptado por el sistema; a costa de incrementar la probabilidad de que un usuario genuino sea rechazado.

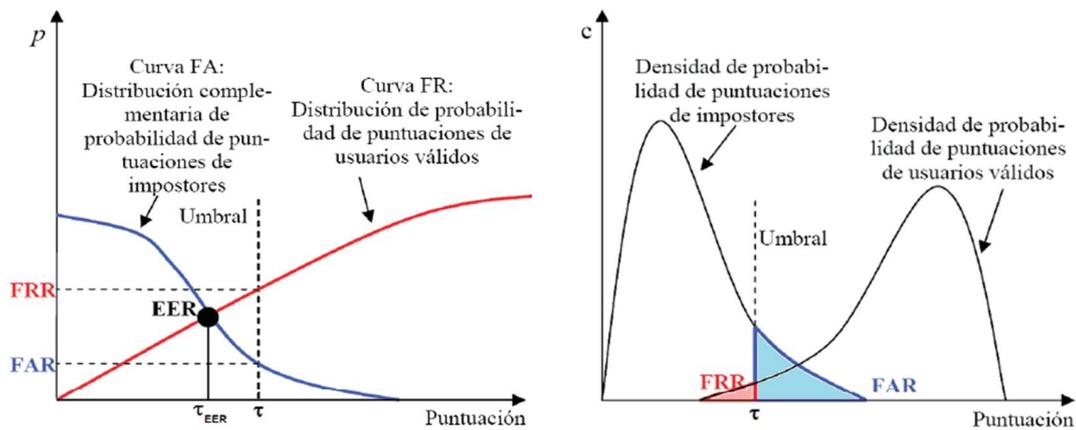


Figura 2.3: Ejemplo de distribución y densidad de probabilidad de usuarios válidos e impostores

También es habitual representar la densidad de probabilidad de las puntuaciones para usuarios genuinos e impostores, como aparece en la Figura 2.3(b). Fijado un umbral, el área bajo la curva de impostores que quede por encima del mismo, coincide con la probabilidad de que un impostor sea aceptado (FAR); así como el área bajo la curva de usuarios genuinos por debajo del umbral, coincide con la probabilidad de que el sistema rechace a un usuario válido (FRR).

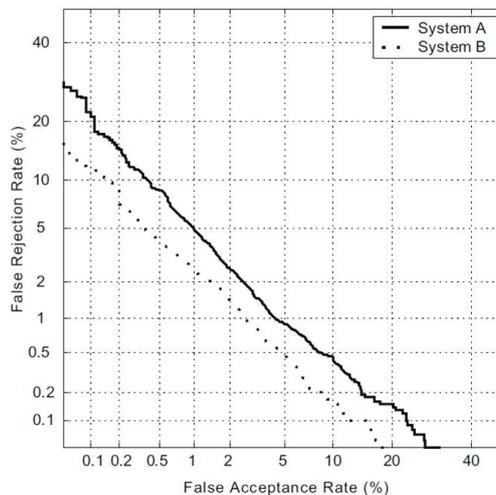


Figura 2.4: Ejemplo de curva DET (Detection Error Tradeoff)

En algunas ocasiones, el punto de trabajo se fija estableciendo unos límites máximos de error de FA y FR. La representación en forma de curvas DET (Detection Error Tradeoff) resulta muy útil en estos casos. En una curva DET se presenta un error frente a otro en un eje normalizado, originándose una única curva definida para todos los posibles puntos de trabajo del sistema (ver Figura 2.4). El EER coincide con el punto donde la curva DET corta con la bisectriz de la gráfica. Una gran ventaja de este tipo de representación es que permite comparar a simple vista distintos tipos de sistemas en cualquier punto de trabajo. Cuanto mejor sea el sistema, más se acercará su curva DET al origen (menor porcentaje de errores FA y FR).

Evaluación del rendimiento en sistemas en modo de identificación

Un sistema biométrico que trabaja en modo de identificación hace una comparación uno a muchos y devuelve el modelo que mayor puntuación haya obtenido. En este caso, se mide la frecuencia con la que el modelo del usuario genuino consigue la mayor puntuación. Otras veces el sistema devuelve una lista de N candidatos que superan un cierto nivel de similitud, y se trabaja con curvas CMC (Cumulative Match Characteristic) como la de la Figura 2.5. Estas curvas indican la probabilidad con la que el candidato genuino aparece en cada posición de la lista devuelta por el sistema.

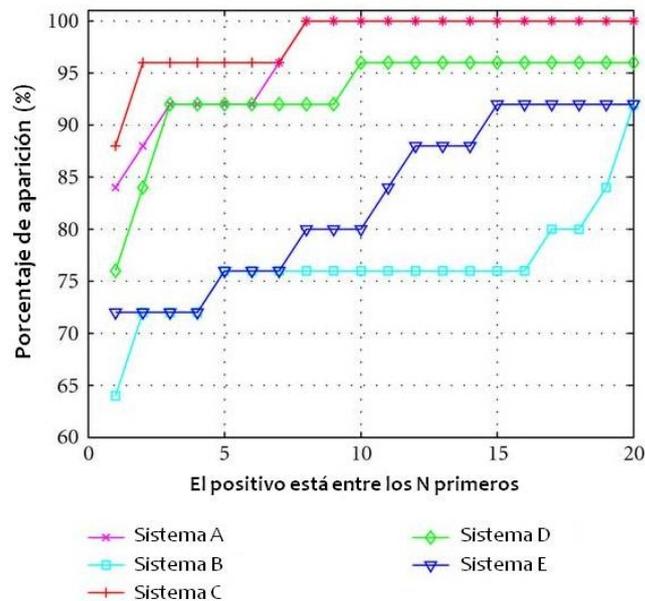
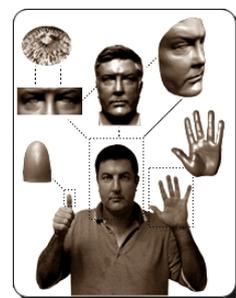


Figura 2.5: Ejemplo de curva CMC (Cumulative Match Characteristic)

2.3.3. Sistemas biométricos multimodales

Si bien aún es posible trabajar para reducir el margen de error de la mayoría de los sistemas biométricos de un solo rasgo, existen ciertas limitaciones que no pueden evitarse. La variabilidad intraclase, el ruido en las muestras adquiridas o los posibles ataques a los sistemas son algunos ejemplos. En este sentido, la «multibiometría» se plantea como una buena opción para reducir el margen de error y aumentar la seguridad frente a ataques.

Los sistemas biométricos multimodales hacen uso de más de una fuente de información para realizar la tarea de reconocimiento; pudiendo utilizar, según el escenario: múltiples sensores, rasgos biométricos, instancias (como huellas de varios dedos de una persona), capturas (como una secuencia de imágenes del iris) o representaciones de un mismo rasgo biométrico (como



distintos métodos de extracción o comparación de características). Algunas de sus ventajas frente a los sistemas unimodales tradicionales son:

- Pueden ser utilizados por un mayor porcentaje de población.
- Resultan más seguros frente a ataques.
- Alcanzan mayores niveles de precisión al combinar la información de las distintas fuentes.

Un sistema biométrico multimodal puede operar en: «**modo serie**» si la salida del análisis de una fuente se toma como entrada de la siguiente; o en «**modo paralelo**» si la información de las distintas fuentes se emplea de forma simultánea en el proceso de reconocimiento. Además, el módulo de fusión que combina la información de los distintos sistemas puede situarse: a nivel de extracción de características, a nivel de score o a nivel de decisión.

2.3.4. Aplicaciones de los sistemas biométricos

Las características y requisitos propios de cada sistema biométrico dependen directamente de la aplicación para la que vayan a ser utilizados. Tradicionalmente se distinguen tres campos de aplicación [4]: *comercial*, *gubernamental* y *forense*. Sin embargo, esta división no aporta una idea de las características de los sistemas en cada tipo de aplicación; pudiendo dentro de un mismo campo coexistir sistemas con requisitos y necesidades completamente distintas. Es posible hacer otra clasificación partiendo de criterios como: la forma en que el usuario interactúa con el sistema, los requisitos de rendimiento, el grado de cooperación de los usuarios, el modo de operación del sistema, etc. Esto nos proporciona una segunda clasificación que los divide en las siguientes categorías [5]: identificación criminal, terminales en puntos de venta, comercio electrónico o transacciones telefónicas, acceso a la red o a dispositivos personales, acceso físico a zonas restringidas, verificación de identidad del ciudadano y servicios de vigilancia.

2.3.5. Aceptación social y privacidad

La privacidad es un punto fundamental y ampliamente cuestionado al hacer uso de un sistema biométrico. El apoyo de la sociedad es un requisito básico cuando se desea implantar un nuevo sistema. El grado de aceptación social depende en gran medida de la facilidad y comodidad con la que se interactúa con el sistema; cuanto menor cooperación se necesite del usuario, más cómodo resulta y mayor aceptación tendrá. Por otro lado, el hecho de que se pueda captar un rasgo biométrico sin cooperación de los usuarios, se percibe como una amenaza a la privacidad de las personas. Los detractores del uso de sistemas biométricos defienden que éstos conllevan el riesgo de mermar los derechos de privacidad de las personas. El acceso a los rasgos biométricos no sólo reduce el anonimato, sino que puede proporcionar información muy personal (edad, género, afecciones médicas, discapacidades, etc). Por contra, los defensores de los sistemas biométricos afirman que éstos pueden utilizarse como [6]:

- Protección de la privacidad individual. Por ejemplo, el acceso a un servicio basado en claves o contraseñas es vulnerable ya que pueden ser adivinadas u obtenidas clandestinamente. En este sentido, los sistemas biométricos protegen el acceso a ciertos servicios e información de los usuarios.
- Barrera para el acceso a información personal. Se pueden utilizar sistemas biométricos para restringir directamente el acceso a cierto tipo de información (como informes médicos de pacientes en una base de datos).
- Tecnología de protección de la intimidad. Los sistemas biométricos actuales no almacenan el rasgo biométrico capturado en su forma original, sino que guardan una representación digital en un formato encriptado, impidiendo que la característica física real pueda ser recuperada a partir de su representación digital. Es lo que se denomina «encriptación biométrica».

3

Sistemas de reconocimiento de huella palmar

3.1. Introducción

La identificación de personas basada en imágenes de la mano ha suscitado mucho interés a lo largo de la última década. Esto ha dado lugar a dos rasgos biométricos bajo estudio: la geometría de la mano y la huella palmar.



Figura 3.1: Ejemplos de huellas palmares

En este proyecto se implementa un sistema de reconocimiento de huella palmar. La huella palmar es un rasgo biométrico fisiológico con multitud de características que la hacen idónea para ser utilizada en sistemas biométricos. Además de presentar muy buenas propiedades en comparación con otros rasgos (como podía apreciarse en la Figura 2.1 de la Sección 2.1), es posible capturar algunas de sus características distintivas (como líneas principales) en imágenes de baja resolución, con dispositivos de captura de bajo coste y de fácil interacción con el usuario [7].

Este capítulo comienza con una breve reseña histórica de la huella palmar como medio de identificación. Después se estudian las particularidades y características de la huella palmar como rasgo biométrico. A continuación, se exponen las diferencias entre sistemas biométricos de huella palmar según su aplicación sea comercial o forense. Luego se presentan las etapas que componen un sistema de huella palmar y varios algoritmos o métodos propuestos en la literatura

para cada una de ellas; donde no se pretende proporcionar una revisión exhaustiva de cada una de las soluciones propuestas, sino revisar el estado del arte en sistemas de reconocimiento de huella palmar. Finalmente se realiza una comparativa del rendimiento de cada uno de los sistemas citados a lo largo del capítulo.

3.2. Historia, nacimiento y evolución

La utilización de la palma como medio de identificación nació de la necesidad de diferenciar a una persona de otra cuando aún no toda la población estaba alfabetizada. Sin embargo, no fue hasta 1858 cuando apareció la primera captura sistemática de imágenes de la mano y de los dedos para tareas de identificación. Se realizó en India por un hombre de negocios llamado Sir William Herschel, cuya intención era distinguir a sus trabajadores de otros que se hacían pasar por ellos para cobrar el salario correspondiente [8].

El primer AFIS (Automated Fingerprint Identification System) conocido que soportaba huellas palmares fue construido por una empresa húngara. Más tarde, en 1997, una empresa estadounidense compró un sistema biométrico basado en imágenes de la mano que integraba reconocimiento de huellas dactilares y palmares. En 2004, los estados de Connecticut, Rhode Island y California permitieron que los cuerpos de seguridad compararan huellas palmares latentes sin identificación con otras provenientes de bases de datos de delincuentes conocidos. En 2006, Australia contaba con la mayor base de datos de huellas palmares del mundo, con un total de 4.8 millones de ejemplares a disposición de los cuerpos de policía [9].

Los sistemas de reconocimiento de huella palmar fueron desde el principio utilizados para la identificación criminal por parte de las fuerzas de seguridad; donde cobran especial importancia puesto que el 30 % de las huellas latentes recuperadas en la escena de un crimen provienen de la palma de la mano [10]. Sin embargo, el rápido crecimiento de aplicaciones de comercio electrónico en los últimos años, ha supuesto una creciente actividad de investigación en este campo, desarrollándose nuevos sistemas y algoritmos de reconocimiento para aplicaciones comerciales.

3.3. La huella palmar

La palma se define como la superficie interna de la mano que abarca desde la base de los dedos hasta la muñeca. En esta región, una huella palmar resulta de la combinación de multitud de crestas y pliegues. Las «crestas de fricción» forman un relieve ondulado en la piel y están formadas por glándulas sudoríparas (pero no por pelo o glándulas sebáceas). Por contra, las discontinuidades en el patrón de crestas epidérmicas reciben el nombre de «pliegues de flexión palmar». Estos últimos se forman antes que las crestas, durante la etapa de desarrollo embrionario de la piel. Los pliegues y las crestas de una huella palmar se caracterizan por ser inmutables, permanentes y únicas para cada individuo [10]. Aunque estas dos características son las que forman una huella palmar, muchas otras pueden extraerse y ser utilizadas por un sistema biométrico por resultar lo suficientemente discriminantes, y son principalmente [4]:

- **Líneas principales.** La localización y forma de las líneas principales de una huella palmar son características fisiológicas muy importantes en identificación biométrica, puesto que experimentan una variación muy pequeña a lo largo del tiempo. Existen tres líneas principales que pueden ser reconocidas fácilmente: la transversal distal, proximal y radial (ver Figura 3.2(a)).
- **Características geométricas.** Se extraen a partir de la forma de la palma. La anchura, la altura o el área son algunos ejemplos.

- **Patrón de crestas.** En una huella palmar se pueden encontrar muchísimas crestas, formando un patrón único para cada huella. Las crestas se pueden diferenciar fácilmente de las líneas principales porque son más finas e irregulares que éstas.
- **Minucias.** Las crestas dan lugar a puntos característicos llamados «minucias». Existen numerosos tipos (algunos están representados en la Figura 3.2(b)) pero en reconocimiento biométrico habitualmente solo se utilizan dos: la terminación y bifurcación de una cresta.
- **Puntos Delta.** Un «punto delta» se define como el punto central de una región en forma de delta (como la que aparece en la Figura 3.2(b)). Los puntos deltas suelen ser más comunes en la zona superior de la palma, cerca de la base de los dedos.

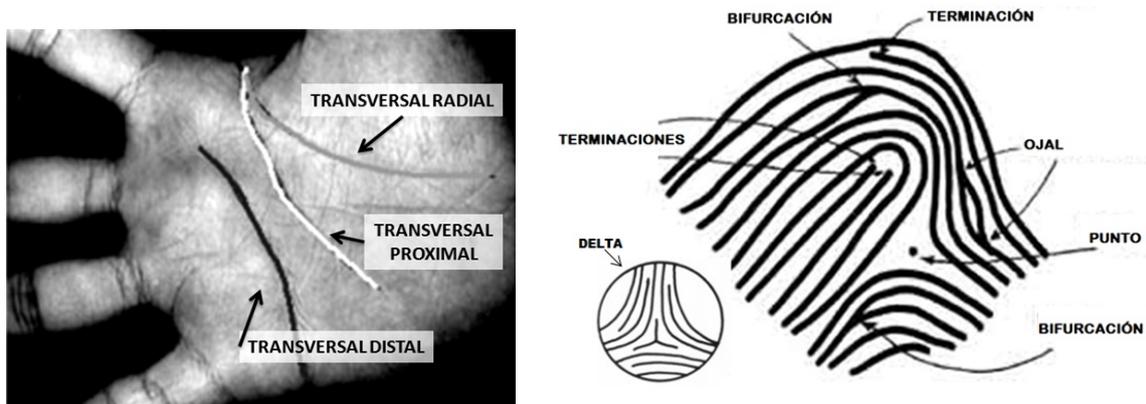


Figura 3.2: Ejemplos de características utilizadas en huella palmar: (a) Líneas principales, (b) Minucias y punto delta de una huella palmar.

Otro tipo de características que son utilizadas en sistemas de reconocimiento de huella palmar se generan a partir del análisis de la **textura** de la imagen. La textura proporciona una descripción de alto nivel del contenido de una imagen. En este proyecto, se implementa un sistema de reconocimiento de huella palmar basado en textura.

3.4. Sistemas biométricos de huella palmar según su aplicación

Como se ha explicado, una huella palmar contiene numerosas características que pueden ser utilizadas por un sistema biométrico. Sin embargo, la extracción de unas u otras depende en gran medida de la resolución de las imágenes de las huellas palmares. De esta forma, algunas características como las minucias o puntos singulares requieren de altas resoluciones (de al menos 400 dpi) y otras como las líneas principales o la textura pueden obtenerse en imágenes de baja resolución (de menos de 100 dpi) [11].

En general, los sistemas biométricos diseñados para aplicaciones forenses son sistemas «off-line» ya que se basan en la comparación de huellas «latentes» que han sido previamente almacenadas y digitalizadas por medio de un escáner. Las huellas latentes son muy distintas a las que se usan en un sistema comercial porque son de baja calidad y pueden ser huellas parciales. En este caso, es esencial que las imágenes sean de alta resolución puesto que estos sistemas se basan en la extracción y comparación de minucias y puntos singulares. Las imágenes de baja resolución se reservan para sistemas comerciales y civiles porque menor almacenamiento conlleva menor

tiempo de procesamiento; pudiéndose implementar sistemas «online» que trabajan en tiempo real. Esta es la razón por la que muchos de estos sistemas se basan en características que requieren un menor nivel de detalle como líneas principales, características geométricas o textura. La Figura 3.3 muestra un ejemplo de una huella latente empleada por un sistema forense y otra huella adquirida por un sistema comercial.

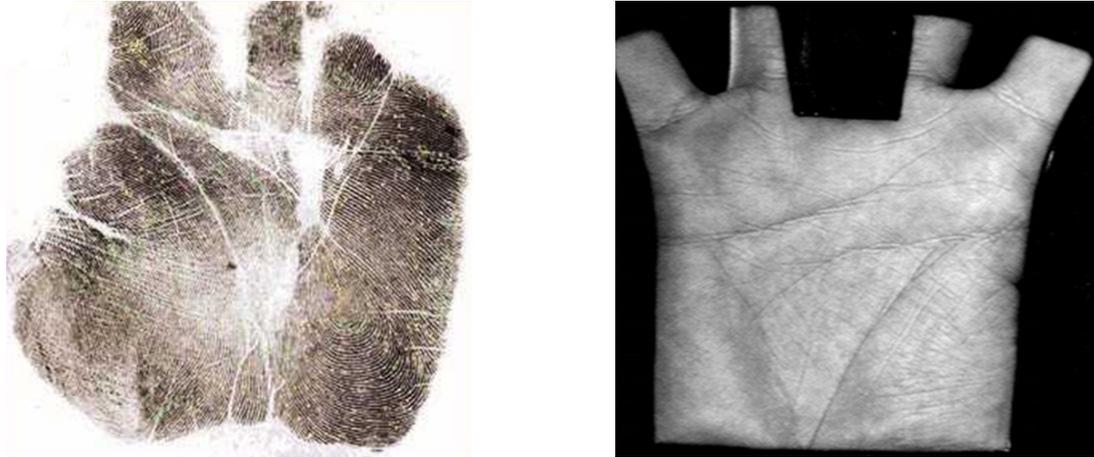


Figura 3.3: Ejemplo de huella latente y huella de un sistema comercial.

A partir de aquí, se revisarán con especial énfasis las características de aquellos sistemas biométricos aplicados a sistemas comerciales o civiles, que trabajan en modo de verificación, online y que utilizan imágenes de baja resolución; puesto que éste es el escenario del que parte el sistema biométrico desarrollado en este proyecto.

3.5. Etapas de un sistema biométrico de huella palmar

3.5.1. Adquisición de huellas palmares

La captura de imágenes de la palma de la mano suele realizarse generalmente mediante un escáner, una cámara de vídeo o una cámara digital. La Figura 3.4 muestra algunos dispositivos que han sido empleados en sistemas biométricos de huella palmar. La calidad de la huella palmar obtenida depende en gran medida de la tecnología empleada por estos dispositivos. Los escáneres digitales pueden adquirir imágenes de mayor resolución pero necesitan mayor tiempo de adquisición, con lo que no son adecuados para aplicaciones en tiempo real. Por otro lado, las cámaras digitales y de vídeo capturan imágenes instantáneas pero su calidad será peor y pueden ocasionar problemas en reconocimiento ante escenarios de adquisición no controlados, con variación de iluminación o distorsiones provocadas por el movimiento de la mano [12]. En la cámara digital de la Figura 3.4 se puede comprobar cómo se intenta controlar el escenario mediante un fondo estático y uniforme (que permitirá distinguir con mayor facilidad la mano del fondo, simplificando el proceso de extracción de la palma). Los escáneres con topes son otra forma de controlar el entorno de captura, haciendo que la posición de la palma del usuario en la imagen sea fija.



Figura 3.4: Ejemplos de dispositivos de adquisición de huella palmar: cámara digital, escáner sin topes y escáner con topes.

3.5.2. Pre-procesado

Tras la adquisición, el primer paso consistirá en la selección de la región de interés dentro de la imagen tomada por el dispositivo de captura. En algunos casos, es el propio dispositivo el que obtiene dicha región de interés, adaptando la zona de captura al área central de la palma de la mano. En otros casos, se obtiene una imagen de la mano o de una región de la misma y se procesa para extraer la parte central de la palma. Éste es el caso de las imágenes de la Figura 3.5. Los pasos para obtener dicha región de interés se esquematizan en la Figura 3.6 y son habitualmente:

1. **Se binariza** la imagen, es decir, se obtiene una imagen binaria en la que los píxeles blancos (valor 1) forman la palma y los píxeles negros (valor 0) pertenecen al fondo. Para binarizar la imagen, se suele emplear el método de Otsu que selecciona el umbral global óptimo entre dos clases (en este caso: palma y fondo). Tras la binarización, es posible que queden píxeles en negro dentro de la palma o píxeles en blanco aislados en el fondo, debido al ruido. Para reducir este efecto, se suaviza la imagen antes de realizar la binarización y/o se realiza un post-procesado después de la misma.
2. **Se obtiene el contorno** de la palma mediante algún algoritmo de seguimiento de contornos o detección de bordes.
3. **Se identifican puntos de referencia** en la imagen a partir de los cuales se localizará la zona central de la palma. El objetivo es que la extracción de esta zona sea invariante a las rotaciones o traslaciones de la mano en la etapa de adquisición. Algunos ejemplos de puntos de referencia son las puntas de los dedos o los centroides del contorno que forman los huecos entre los dedos.

Finalmente, a partir de los puntos de referencia, se establece un sistema de coordenadas y se segmenta la parte central. La segmentación puede ser elíptica, circular o cuadrada; siendo esta última la más común para sistemas biométricos de huella palmar. El resultado de esta etapa es una imagen cuadrada correspondiente a la zona central de la palma que será la única información utilizada por el resto de las etapas del sistema.

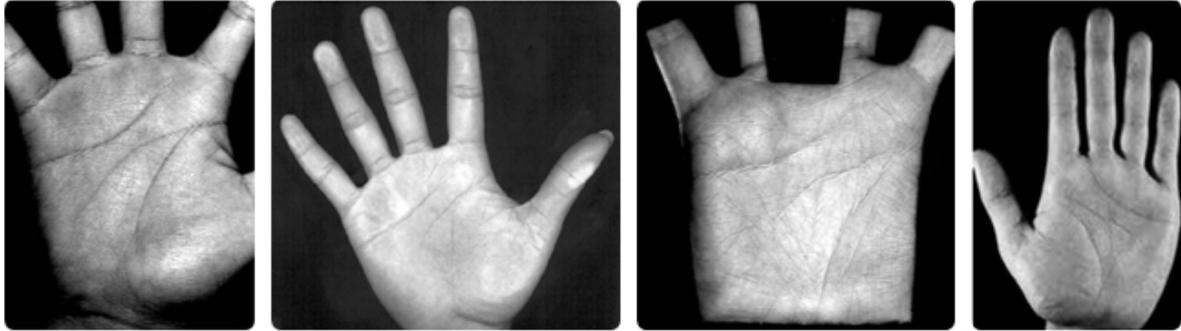


Figura 3.5: Ejemplos de imágenes originales obtenidas por distintos dispositivos de captura y parte central de la palma (región de interés extraída) a partir de las mismas

Además, el pre-procesado tiene el objetivo de acondicionar la imagen para la etapa de extracción de características. Los procesos que se lleven a cabo en el mismo dependerán del método de extracción de características empleado. De hecho, algunos algoritmos de extracción de características no requieren de etapa de pre-procesado; aunque no suele ser el caso habitual. Entre los procesos involucrados en esta etapa suelen predominar: la modificación del tamaño de las imágenes mediante técnicas de interpolación o diezmado, suavizar las imágenes para reducir el ruido, binarizar las imágenes para obtener el patrón de crestas, usar transformaciones u operadores morfológicos para resaltar las zonas convenientes o normalizar la escala de grises de las imágenes para evitar grandes variaciones de iluminación entre las mismas.

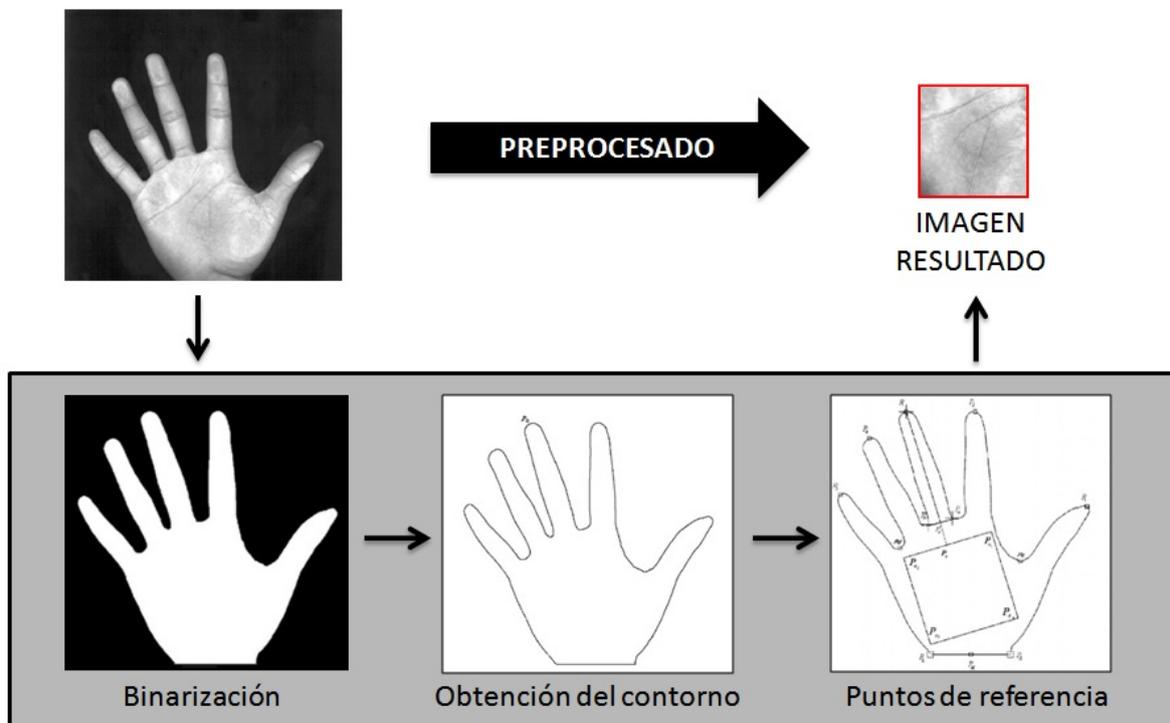


Figura 3.6: Esquema general del preprocesado de una imagen hasta obtener la región de interés. Imágenes obtenidas de [2].

3.5.3. Extracción de características y métodos de comparación

Después de la adquisición del rasgo biométrico y su pre-procesado, se extraen las características del mismo y se forma un «modelo» que se compara con otro u otros para evaluar si pertenecen o no a una misma persona. La multitud de características que un sistema biométrico de huella palmar puede utilizar ha dado lugar a la aparición de una amplia variedad de soluciones. Para aportar una visión general de las mismas, se van a clasificar en 4 categorías los diferentes algoritmos de extracción de características y métodos de comparación empleados en la literatura [7]:

- **Basados en textura.**

La mayoría de los sistemas basados en textura obtienen como característica una imagen binaria mediante la convolución de la palma de la mano con un filtro de Gabor de dos dimensiones [11] [13]. Estos sistemas son capaces de extraer características espacio-frecuenciales de forma muy precisa y son robustos frente a las variaciones de brillo y contraste. Los métodos de comparación empleados miden la similitud entre las características (imágenes binarias) obtenidas, utilizando para ello habitualmente la distancia de Hamming.

- **Basados en apariencia.**

Los sistemas basados en apariencia suelen aplicar transformaciones a las huellas palmares que hacen que las características resultantes sean más discriminantes entre huellas de diferentes personas [14] [15]. Algunos ejemplos propuestos en la literatura utilizan la transformada de Karhunen-Loeve o la descomposición multiresolución mediante transformadas wavelet. Existen distintas formas de realizar la comparación. Por ejemplo, se pueden utilizar diferentes medidas como la distancia de Mahalanobis o distancia euclídea para medir la similitud entre dos características, o bien entrenar una red neuronal como clasificador.

- **Basados en múltiples características.**

Existe otro tipo de sistemas que aprovechan la información de distintos tipos de características que pueden ser paralelamente extraídas en una huella palmar. Por ejemplo, en [16] se propone un sistema de identificación mediante huella palmar que realiza una pre-clasificación basada en textura que selecciona los candidatos que pasarán a la etapa de comparación; donde se utiliza un algoritmo basado en la extracción de puntos característicos obtenidos mediante el uso de distintos operadores (como el operador de Moravec o Plessey). Otro tipo de sistemas en modo de verificación fusionan la información proveniente de distintas características a nivel de score. En [17] se extraen puntos característicos que forman parte de líneas principales y se utiliza la localización de cada punto y la orientación de la línea principal que lo contenía en el cálculo de la distancia entre los mismos.

- **Basados en líneas principales.**

Las líneas principales son las características más básicas que pueden extraerse en una huella palmar. Por esta razón, los sistemas basados en líneas principales tiene un peso muy importante dentro de los sistemas de reconocimiento de huella palmar en modo de verificación e identificación. En la mayoría de los sistemas implementados, se parte del hecho de que una línea principal puede aproximarse a un conjunto de segmentos rectos. Sin embargo, existen multitud de algoritmos propuestos para la extracción de líneas principales. En [2] se convolucionan la imagen de entrada con cuatro operadores de Sobel de distintas direcciones y se selecciona para cada píxel el máximo de los cuatro resultados. Después, se utilizan distintos operadores morfológicos (de apertura y cierre) para la extracción de bordes que determinarán la situación de las líneas principales. La transformada finita de

Radon modificada (MFRAT) se utiliza en [7] sobre una «imagen de dirección» y otra «imagen de energía». En [17] se utilizan operadores morfológicos de erosión y dilatación para detectar las líneas principales en la imagen binarizada de la huella palmar. En los métodos de comparación también hay diversidad. Se pueden utilizar algoritmos de comparación de píxel contra área, algoritmos de retropropagación de red neuronal, o medidas de correlación entre vectores.

Aún así, la gran diversidad de soluciones propuestas provoca que existan muchas otras que queden fuera de estas categorías. Por ejemplo, en [18] se propone una adaptación de la huella palmar a los algoritmos ya implementados en huella dactilar que generan buenos resultados; para ello, se implementa un algoritmo que elimina las líneas principales y pliegues de flexión de una huella, conservando únicamente las crestas (características de una huella dactilar).

3.6. Comparativa de métodos

En el Cuadro 3.1 se resumen las características y los métodos de comparación utilizados en los sistemas citados a lo largo del capítulo.

Cuadro 3.1: Características de algunos algoritmos empleados para el reconocimiento de huella palmar; según el tipo de conjunto de características seleccionado y el método de clasificación empleado.

| Algoritmo | Conjunto de características | Método de clasificación |
|-------------------------|--|--|
| Zhang, D., et al. [11] | <i>Textura</i> : vector obtenido mediante un filtro circular de Gabor | Distancia de Hamming normalizada |
| M. Kamel, et al. [13] | <i>Textura</i> : vector obtenido mediante filtros elípticos de Gabor de distintas orientaciones | Distancia de Hamming normalizada |
| Connie, T., et al. [14] | <i>Apariencia</i> : características obtenidas mediante la proyección de la banda de baja frecuencia mediante PCA, LDA y ICA | Red neuronal probabilística (PNN) y distancias (Manhattan, Mahalanobis y euclídea). |
| Zhang, D., et al. [15] | <i>Apariencia</i> : Eigenpalms obtenidas mediante transformación de Karhunen-Loeve | Distancia euclídea. |
| Li, W., et al. [16] | <i>Múltiples características</i> : cálculo de GTE (Global Texture Energy) para selección de candidatos y puntos de interés obtenidos mediante el operador de Plessey | Distancia de Hausdorff en modo jerárquico (calculada para distintas resoluciones). |
| Jain, A.K., et al. [17] | <i>Múltiples características</i> : posición y orientación de puntos localizados en líneas principales | Menor distancia media entre puntos calculada mediante un algoritmo de alineamiento. |
| Han, C., et al. [2] | <i>Líneas principales</i> : líneas principales y pliegues extraídos mediante operadores de Sobel y operadores morfológicos | Medida de correlación entre características y BPPN (backpropagation neural network). |
| Wei Jia., et al. [7] | <i>Líneas principales</i> : líneas principales extraídas mediante MFRAT (Modified Finite Radon Transform) | Algoritmo de comparación de píxel contra área. |

Por otra parte, la comparación entre los diferentes sistemas empleados en reconocimiento de huella palmar no resulta trivial puesto que cada resultado publicado está basado en un conjunto de datos distinto. Factores como el tamaño de la base de datos y la demografía de la población, la calidad de las imágenes, las restricciones en cuanto al posicionamiento de la mano, el dispositivo de captura, etc. impiden que se puedan comparar directamente las tasas de reconocimiento de los diferentes sistemas. Por este motivo, se ha generado una tabla donde se resumen, para varios sistemas, las condiciones experimentales que han llevado a la consecución de cada resultado individual (ver Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2: Comparación del rendimiento de una selección de sistemas de reconocimiento de huella palmar.

| Referencia | Año | Usuarios | Características | FAR | FRR | EER |
|------------|------|----------|---------------------------|----------|----------|-------|
| [11] | 2003 | 386 | Textura | 0,04 % | 0,02 % | 0,6 % |
| [13] | 2006 | 284 | Textura | 0,01 % | 2,32 % | |
| [14] | 2005 | 75 | Apariencia | 1,3569 % | 1,4925 % | |
| [15] | 2003 | 191 | Apariencia | 0,03 % | 1 % | |
| [17] | 2002 | 6 | Múltiples características | | | 0,5 % |
| [2] | 2003 | 50 | Líneas principales | 0,96 % | 0,5 % | |
| [7] | 2008 | 386 | Líneas principales | 0,565 % | 0,5652 % | |

4

Sistema propuesto: Diseño y desarrollo

El principal objetivo de este proyecto consiste en desarrollar un sistema de reconocimiento de huella palmar para una aplicación de control de accesos o similar, trabajando de esta forma en modo de verificación. Este capítulo pretende explicar las diferentes etapas que atraviesa una imagen de la mano de un usuario en el sistema desarrollado hasta que se convierte en un vector de características. Después se expone la forma en que finalmente se realiza la comparación entre dos vectores. Los experimentos realizados sobre el sistema se muestran en el siguiente capítulo.

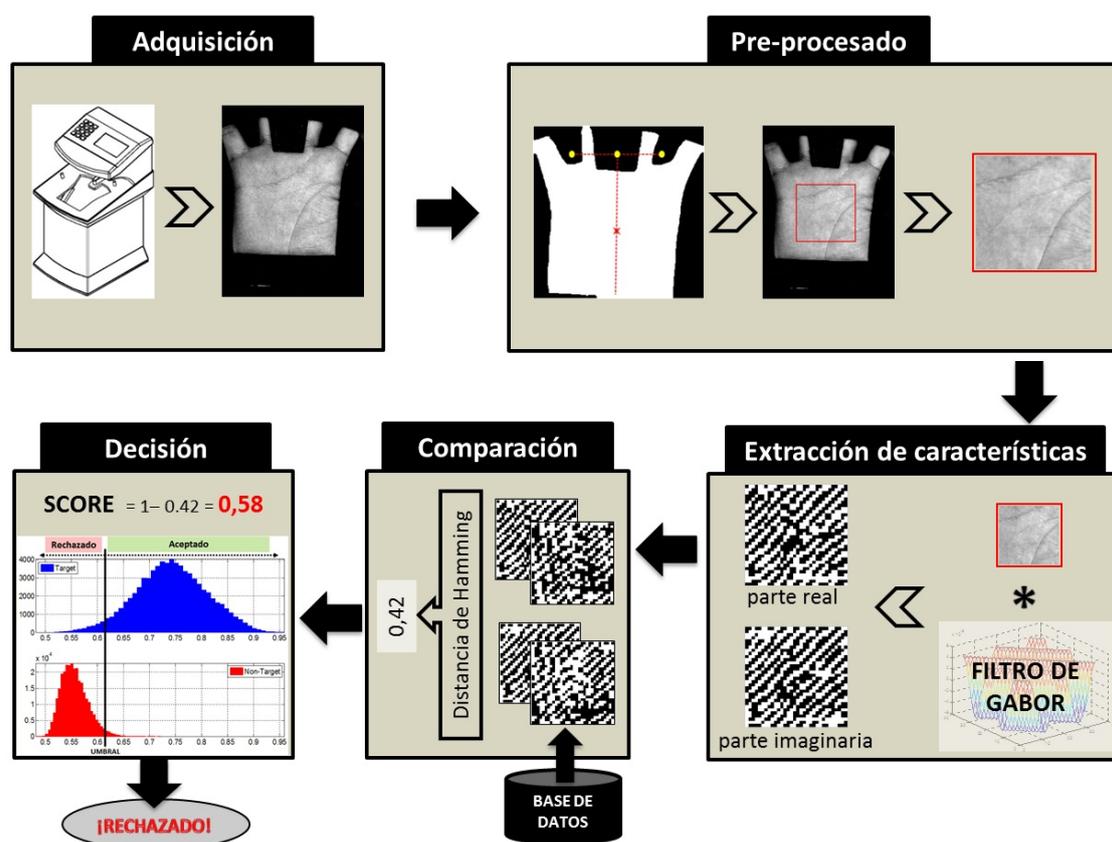


Figura 4.1: Arquitectura modular del sistema de reconocimiento desarrollado.

El diagrama de bloques del sistema se ilustra en la Figura 4.1. Tras la adquisición, se localizan unos puntos de referencia mediante los cuales se selecciona y extrae dentro de la imagen un área cuadrada del interior de la palma de la mano. Después se calcula un vector de características mediante la información contenida en la textura de la palma. Finalmente se realiza la comparación entre este vector de características y uno seleccionado de la base de datos, para lo que se utiliza una medida de distancia que calcula la disimilitud entre ambos vectores. La puntuación o score obtenido de la comparación se calcula según: «Puntuación = 1 - Distancia»; obteniéndose puntuaciones mayores cuando existe mayor similitud entre los vectores. La decisión se realiza por medio de un umbral que se ajustará en función del punto de trabajo de cada aplicación.

Para realizar el sistema se ha tomado como punto de partida un artículo de David Zhang [11] donde se desarrolla un sistema de reconocimiento de huella palmar online. El sistema en fase de desarrollo, utilizará los parámetros que se proponen en este artículo.

4.1. Adquisición

La adquisición de este sistema se ha realizado mediante un sensor con topes como el que se muestra en la primera etapa de la Figura 4.1. Este tipo de sensor utiliza como referencia el punto de separación entre el dedo anular y corazón, permitiendo que la posición de la palma de los usuarios sea relativamente fija entre distintas capturas de la misma. Como resultado, se obtiene una imagen de fondo negro donde la palma se sitúa en la parte central.

En esta primera etapa, la calidad de la imagen capturada es una cuestión fundamental. El ruido, una mala regulación del contraste del sensor o una incorrecta posición de la mano del usuario son algunos ejemplos que pueden acarrear problemas en la tarea de reconocimiento.

Las imágenes de palmas de la mano utilizadas durante el diseño, desarrollo y experimentación del sistema implementado en este proyecto se han obtenido de la base de datos «PolyU Palmprint», cuyas características se detallan en la Sección 5.1 del siguiente capítulo.

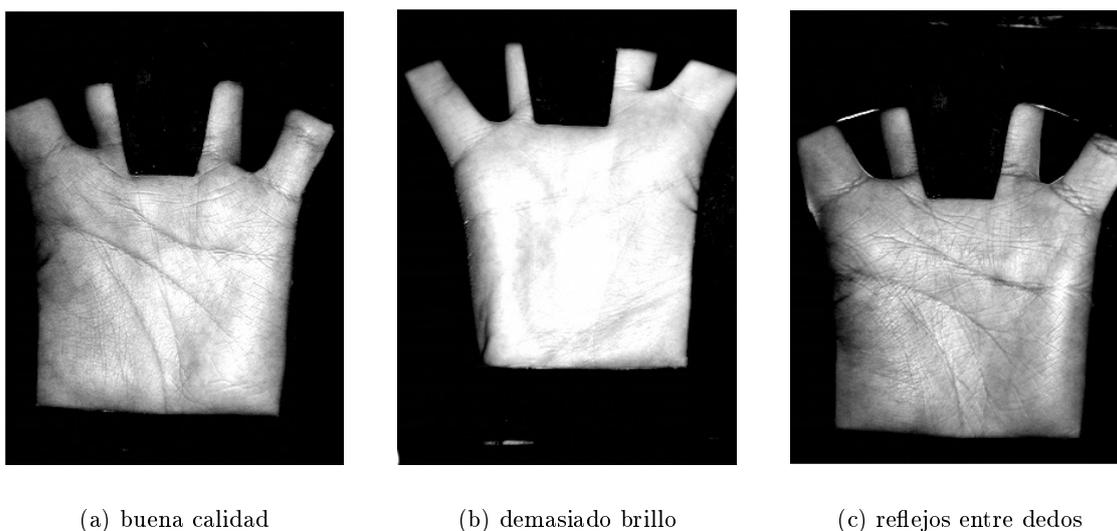


Figura 4.2: Ejemplo de imágenes de «PolyU Palmprint Database», la base de datos utilizada.

4.2. Pre-procesado

El objetivo del pre-procesado consiste en seleccionar un área cuadrada que abarque la superficie central de la palma de la mano dentro de la imagen adquirida por el dispositivo de captura. Para conseguirlo, se aplica en primer lugar una técnica de segmentación que permita extraer el contorno de la palma de forma sencilla. A partir del contorno, se localizan los puntos de referencia (situados en la separación entre los dedos) para crear un sistema de coordenadas que sea invariante a la posición y orientación de la palma del usuario en el sensor; y en función del mismo, se recorta finalmente un área cuadrada. La salida del preprocesado es una nueva imagen formada por el área recortada que se utilizará en la siguiente etapa para calcular su vector de características. Estos pasos se explican con detalle a continuación y están representados de forma esquemática en el diagrama de flujo de la Figura 4.3.

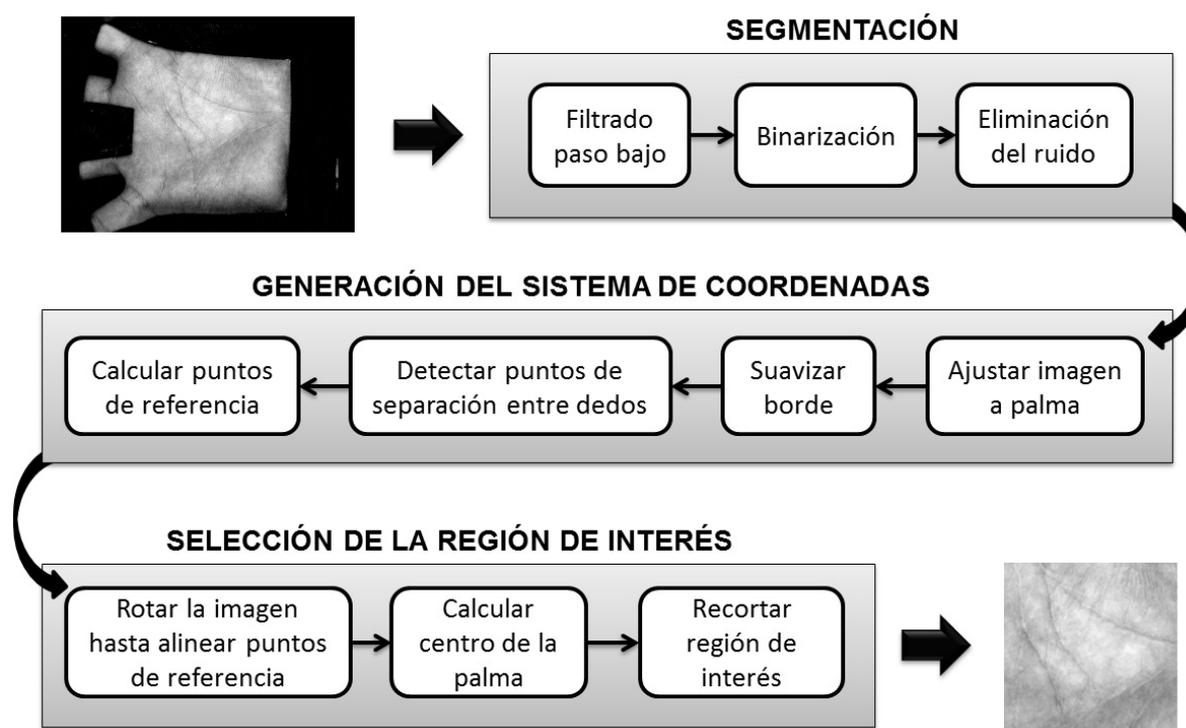


Figura 4.3: Diagrama de flujo de la etapa de pre-procesado del sistema desarrollado.

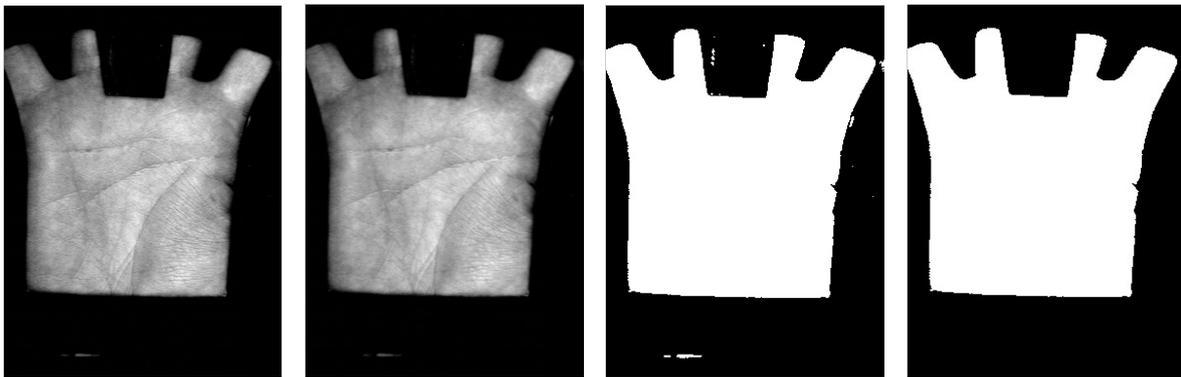
4.2.1. Segmentación

El primer paso para extraer el contorno de la palma de la mano, consiste en «segmentar» la imagen. La segmentación separa el frente del fondo de la misma. En este sistema, el frente es la palma de la mano, y la información de interés; y el fondo coincide con los píxeles más oscuros (negros). Para ello se realizan las siguientes tareas:

- **Filtrado paso bajo.** El suavizado se logra aplicando sobre la imagen de entrada un filtrado paso bajo. En este caso se ha utilizado un filtro gaussiano. Mediante el suavizado se elimina parte del ruido, y pueden distinguirse en la imagen dos zonas homogéneas: una en color, la palma; y otra negra, el fondo.
- **Binarización.** La imagen de entrada es una imagen en color. La binarización la transforma en una imagen binaria donde los píxeles de la palma tienen valor 1 y los píxeles del fondo tienen valor 0. Para realizar la binarización se usa un umbral muy pequeño. Esta elección

permite que sombras en la separación entre los dedos o determinadas manchas de la piel no pasen por píxeles del fondo; a costa de incrementar el ruido de la imagen (píxeles en blanco que no forman parte de la palma de la mano).

- **Eliminación del ruido.** Para eliminar el ruido se detectan las componentes de la imagen (conjunto de elementos con píxeles en blanco) y se calcula el tamaño de cada una de ellas. Después se selecciona la componente de mayor tamaño y se descartan las demás. Esta componente coincidirá siempre con la palma de la mano.



(a) imagen de entrada a segmentar

(b) suavizada con filtro paso bajo

(c) binarizada por umbralización

(d) binarizada y con ruido eliminado

Figura 4.4: Proceso de segmentación para una imagen de ejemplo.

4.2.2. Generación del sistema de coordenadas

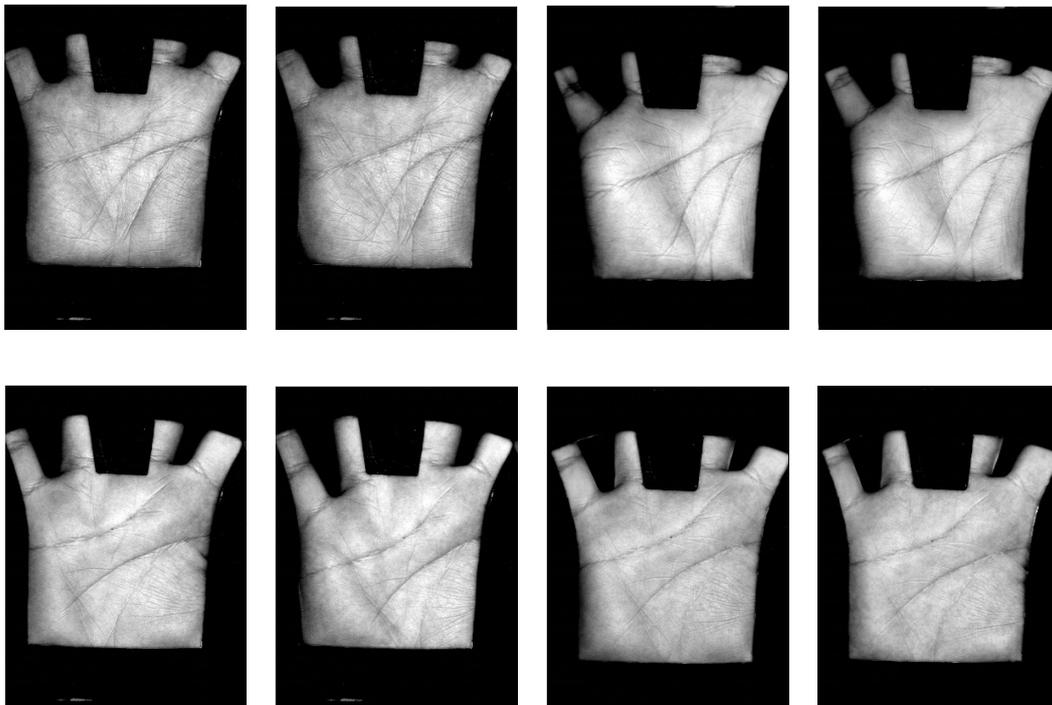


Figura 4.5: Imágenes de ejemplo de palmas de dos usuarios (en la primera fila pertenecen al usuario n° 65, y en la segunda al usuario n° 383).

Aunque en la etapa de adquisición se utilizó un sensor con topes, la posición de la palma en la imagen no es siempre la misma. Además, existen usuarios que interactúan de forma distinta con el sensor en cada realización, generando imágenes donde las palmas sufren leves rotaciones. Estos efectos se ejemplifican en la Figura 4.5 y no pueden pasar inadvertidos, ya que el método de comparación y extracción de características utilizado en la siguiente etapa no es invariante frente a rotación y traslación de la zona central de la palma. Por este motivo es esencial encontrar un sistema de coordenadas común a todas ellas.

La técnica de segmentación utilizada ha proporcionado una imagen donde la palma de la mano ha quedado en blanco y el resto de la imagen en negro. Los puntos de referencia utilizados para fijar el sistema de coordenadas son los centroides de la primera y última separación entre los cuatro dedos superiores, y el punto medio entre los mismos (destacados en amarillo en la Figura 4.1). Para localizarlos se aplica el siguiente procedimiento:

- **Ajustar la imagen a la palma.** El primer paso consiste en ceñir el tamaño de la imagen a la palma de la mano, suprimiendo las zonas del fondo en los laterales que no aportan información. Para ello se recorre la imagen en sentido horizontal y vertical, eliminando las filas y columnas con todos los píxeles a 0 (ver Fig 4.6(a)).
- **Suavizar el borde de la palma.** Como la localización de los puntos de separación entre los dedos se hará mediante búsqueda de mínimos en el contorno, es necesario suavizar posibles picos que pueden aparecer en el borde de la palma, generando «falsos mínimos». Para ello se utilizan operaciones morfológicas sobre la imagen segmentada. En primer lugar se realiza una dilatación que elimina «grietas» (por ejemplo, producidas por pliegues en la zona superior del dedo pulgar). Después se usa la erosión para eliminar reflejos entre dedos que tras la binarización han podido quedar en blanco, formando parte de la palma. La Figura 4.6(b) muestra un ejemplo de entrada y salida de este paso.
- **Detectar las separaciones entre los dedos.** Primero se usa un algoritmo de extracción de bordes que detecta el contorno de la palma. Funcionalmente es simple: se considera «borde» a todo píxel de valor 1 que tenga algún vecino con valor 0, de forma que se genera una imagen binaria donde el borde de la palma aparece en blanco y el resto en negro. Se hace un recorrido de todos los píxeles a 1 en el sentido de las agujas del reloj y se almacena la posición de cada uno. Después se fija un punto de referencia situado en la mitad de la base de la muñeca y se calcula la distancia euclídea entre éste y los puntos del contorno. Esta función de distancia se evalúa para buscar mínimos locales mediante ventanas de tamaño fijo. El primer y último mínimo, marcados en la Figura 4.6(c), revelan la posición de los puntos de separación entre los dedos.
- **Calcular los centroides y su punto medio.** Localizados los puntos de separación, que forman parte del contorno, se calcula el centroide de las separaciones (esto es, la «posición media» en x e y , entre el punto de separación y los vecinos del mismo). Estos centroides se corresponden con los puntos C1 y C2 de la Figura 4.6(d); siendo PM el punto medio entre ambos. La razón del uso de centroides, en vez de los mínimos de separación directamente, es que éstos son mucho más invariantes y no dependen tanto de las operaciones realizadas sobre la imagen segmentada.

Una vez ejecutados estos pasos, se obtiene el sistema de coordenadas donde el eje de abscisas lo formará la unión de los centroides, y el eje de ordenadas será la perpendicular al eje de abscisas que pasa por el punto medio.

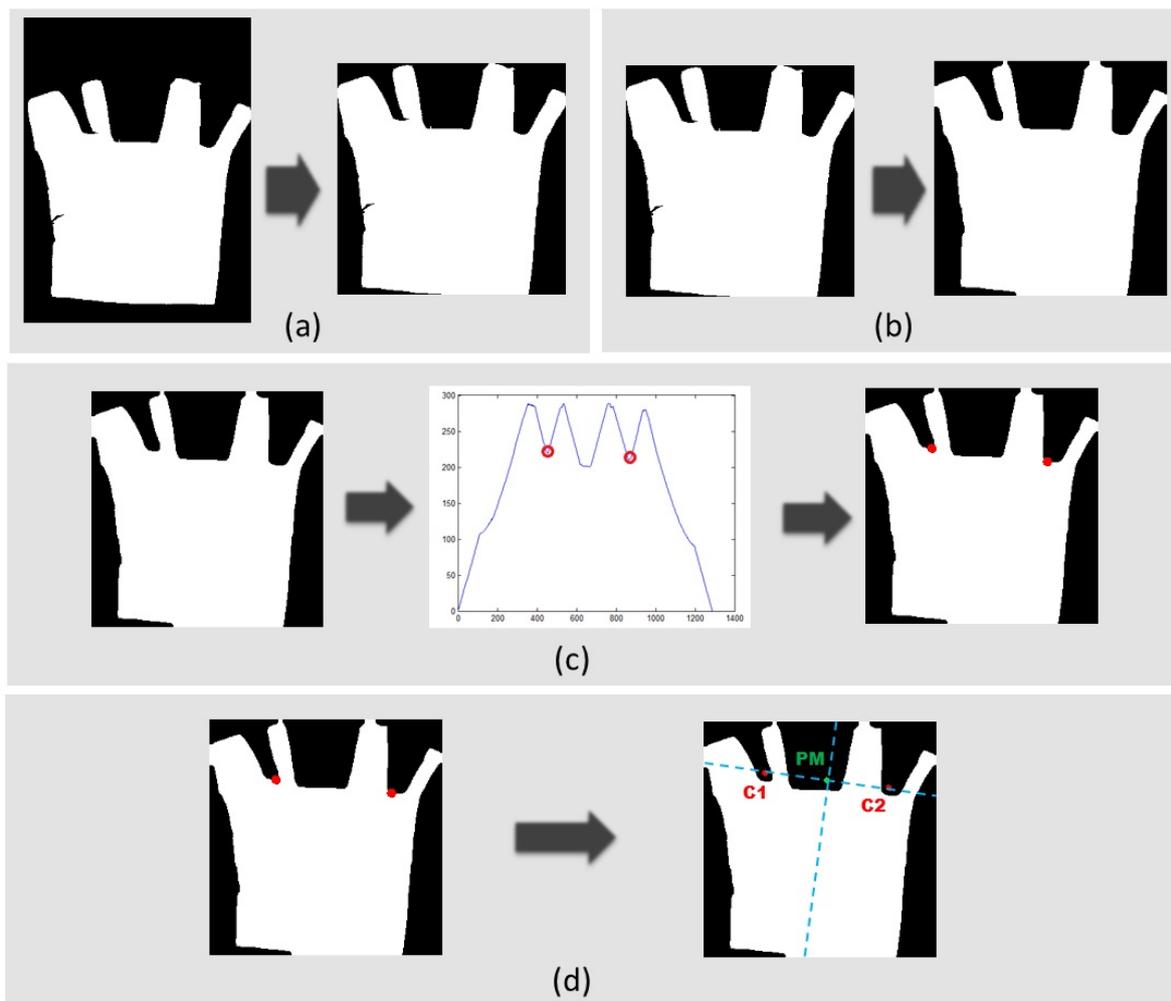


Figura 4.6: Representación del procedimiento utilizado para la generación del sistema de coordenadas: (a) Ajuste de la imagen a la palma, (b) Suavizado, (c) Detección de separación entre dedos y (d) Cálculo de centroides y punto medio.

4.2.3. Selección de la región de interés

En la mayoría de las imágenes, los ejes del sistema de coordenadas generado no son completamente verticales u horizontales a los bordes de la imagen; tienen una inclinación que deberá tenerse en cuenta a la hora de recortar la región de interés. Para ello, se mide el ángulo que forma el eje de abscisas con la horizontal y se rota la imagen para compensar este ángulo. El resultado es una imagen donde el eje de abscisas es horizontal y el de ordenadas es vertical. Se recalcula la nueva situación de los centroides y el punto medio en la imagen rotada. Después, se calcula la «altura de la palma» como la distancia del punto medio a la base de la muñeca. El centro del área de la región de interés coincidirá con la mitad de la altura de la palma en el eje de ordenadas. Por último, se traza un cuadrado de tamaño fijo, se calcula la posición del mismo en la imagen original (de entrada al pre-procesado) y se recorta la imagen (ver Fig 4.7). Esta nueva imagen es la salida de la etapa de pre-procesado.

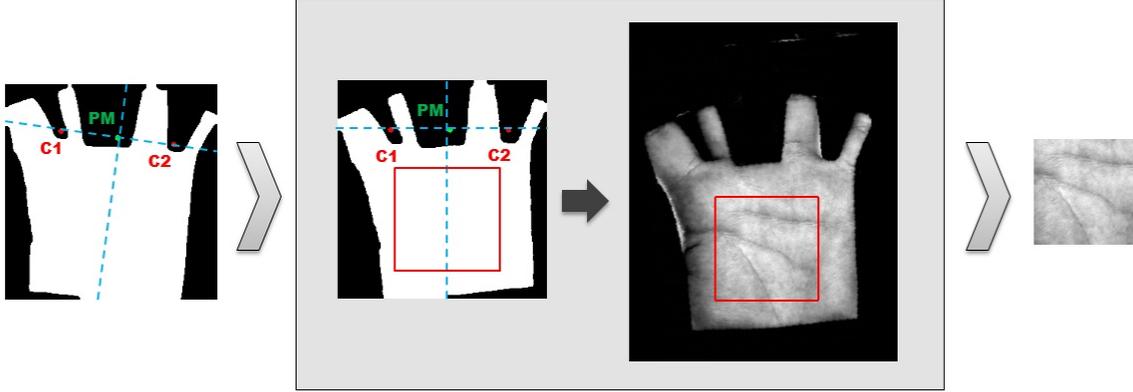


Figura 4.7: Representación de la etapa de selección de la región de interés durante el preprocesado.

4.3. Extracción de características

De las múltiples características que un sistema de reconocimiento de huella palmar puede utilizar (ver Sección 3.3 del Capítulo 3), el sistema implementado está basado en **textura**. Es decir, se utilizará el análisis de la textura de las imágenes de huellas palmares preprocesadas para generar un vector de características que las describa.

4.3.1. Filtrado de Gabor

Para extraer la textura de la imagen salida del preprocesado se usa el «*Filtro de Gabor*». Se trata de un filtro lineal cuya respuesta al impulso es una función sinusoidal multiplicada por una función gaussiana. La principal ventaja que genera el introducir la envolvente gaussiana es obtener información del dominio espacial y frecuencial al mismo tiempo, por lo que es adecuado para representar una señal conjuntamente en ambos dominios (base que llevó a Dennis Gabor a introducirlo en 1946 [19]).

En concreto, el sistema desarrollado utiliza un filtro de Gabor 2D circular. Este tipo de filtro ya había sido propuesto para extraer texturas en Reconocimiento de Iris por J.G Daugman [20], donde se demostró que resulta una herramienta efectiva para el análisis de texturas en procesamiento de imágenes. Se define según la expresión general (como filtro continuo):

$$G(x, y, \theta, u, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right\} \exp\{2\pi i(ux\cos\theta + uysin\theta)\} \quad (4.1)$$

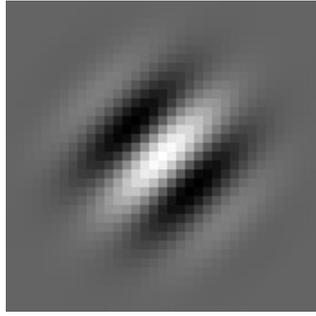
Donde u es la frecuencia de la senoide, θ determina la orientación del filtro y σ es la desviación estándar de la envolvente gaussiana.

El filtro que se utiliza en la etapa de extracción de características del sistema desarrollado, a partir de ahora «*filtro discreto de Gabor modificado*», es el resultado de aplicar una corrección a este último. Esta corrección elimina la componente continua, haciendo el sistema más robusto frente al brillo. De esta forma, la expresión final del filtro utilizado es (como filtro discreto):

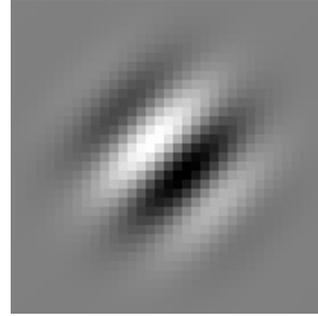
$$\tilde{G}[m, n, \theta, u, \sigma] = G[m, n, \theta, u, \sigma] - \frac{\sum_{i=-N}^N \sum_{j=-N}^N G[i, j, \theta, u, \sigma]}{(2N + 1)^2} \quad (4.2)$$

Donde $(2N + 1)^2$ es el tamaño del filtro.

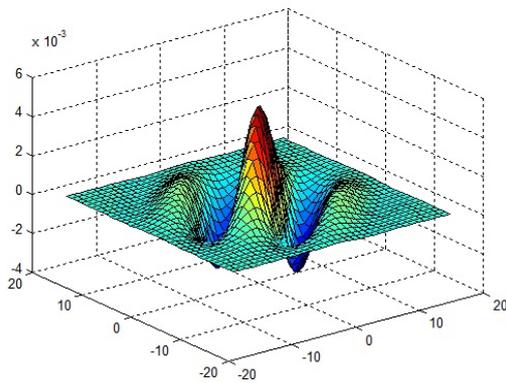
De esta forma, los vectores de características generados dependerán de las imágenes preprocesadas y del filtro discreto de Gabor modificado. Por ello, la correcta elección de los parámetros del filtro será una cuestión clave que influirá en el rendimiento total del sistema. Durante el diseño del sistema, los parámetros del filtro se fijaron según los valores que aparecen en el artículo de referencia [11] (son los mostrados en el Cuadro 4.1). Fijados estos parámetros, su representación se puede comprobar en la Figura 4.8.



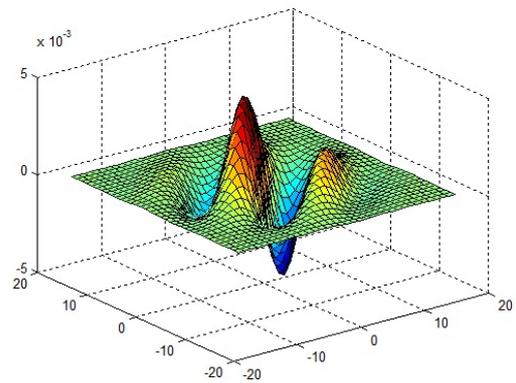
(a) Real 2D



(b) Imag 2D



(c) Real 3D



(d) Imag 3D

Figura 4.8: Representación de la parte real e imaginaria del filtro de Gabor utilizado en espacio bidimensional y tridimensional.

Cuadro 4.1: Parámetros del Filtro de Gabor que utiliza el sistema desarrollado.

| Parámetro | Valor |
|---------------------------------|---------|
| Tamaño del filtro, $(2N + 1)^2$ | 35x35 |
| Orientación, θ | $\pi/4$ |
| Frecuencia, u | 0.0916 |
| Desviación estándar, σ | 5.6179 |

4.3.2. Representación de las características obtenidas

Para obtener el vector de características se realiza la convolución de la imagen preprocesada con el filtro discreto de Gabor modificado, cuya expresión se muestra en la Ec. 4.2. Cada punto en la imagen resultado de la convolución se codifica mediante dos bits (b_r, b_i) , siguiendo el siguiente criterio:

Para la parte real:

$$b_r = 1 \text{ si } Re[\tilde{G}[m, n, \theta, u, \sigma] * I] \geq 0,$$

$$b_r = 0 \text{ si } Re[\tilde{G}[m, n, \theta, u, \sigma] * I] < 0,$$

Para la parte imaginaria:

$$b_i = 1 \text{ si } Im[\tilde{G}[m, n, \theta, u, \sigma] * I] \geq 0,$$

$$b_i = 0 \text{ si } Im[\tilde{G}[m, n, \theta, u, \sigma] * I] < 0$$

De esta forma, el resultado de la convolución produce dos imágenes, puesto que se trata por separado la parte real e imaginaria. Tras conseguir las dos «imágenes codificadas», se submuestran hasta obtener una imagen, o matriz, de tamaño 32x32. Esta información resulta suficiente para generar las características. Como se puede observar, mediante la codificación utilizada únicamente se está almacenando información de la fase. Como resultado, por cada imagen preprocesada la etapa de extracción de características genera una «Característica Real» y una «Característica Imaginaria». Se puede interpretar que el «vector total de características del sistema propuesto» tiene un total de 2048 dimensiones (32x32x2). La Figura 4.9 muestra los vectores de características generados para tres palmas de distintos usuarios.

El último paso de esta etapa consiste en obtener una «máscara» del mismo tamaño que las matrices de características, de forma que indique los puntos que en la imagen preprocesada siguen sin pertenecer a la palma (píxeles del fondo que han podido quedar tras el preprocesado). Esta máscara permite, en la etapa de comparación, que píxeles del fondo (regiones que no contienen información de la textura de la palma) no se contabilicen en el cálculo de la similitud.

La máscara se obtiene aplicando umbralización a la imagen preprocesada. El umbral escogido es el mínimo posible que consigue que únicamente los píxeles del fondo queden por debajo del mismo. Después se muestra hasta obtener un tamaño de 32x32, de forma que la máscara tenga el mismo tamaño que las matrices de características. En general, la máscara no tendrá ningún valor nulo porque toda la zona extraída en el preprocesado forma parte de la palma.

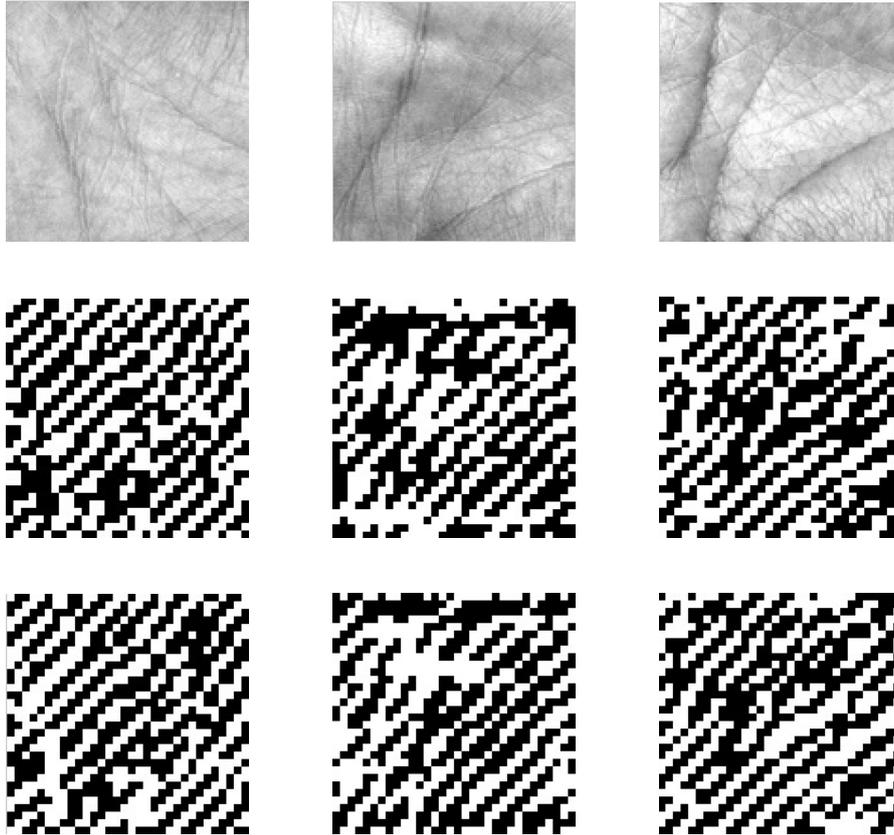


Figura 4.9: Características extraídas para 3 usuarios de ejemplo. (a) Imagen preprocesada. (b) Característica Real. (c) Característica Imaginaria.

Para observar el uso de la máscara, la Figura 4.10 muestra un ejemplo muy poco usual de ésta con valores nulos, en el que para conseguir que píxeles del fondo queden tras el preprocesado se ha seleccionado como parámetro un tamaño demasiado grande para la región de interés.



Figura 4.10: Salida de la etapa de extracción de características: máscara, característica real, característica imaginaria.

4.4. Método de comparación

La etapa de comparación debe calcular una puntuación que evalúe la similitud entre las características reales e imaginarias procedentes de dos imágenes de palmas. Para ello se utiliza la «Distancia de Hamming», que en realidad aporta una medida de disimilitud.

En este sistema en particular, las matrices de características tienen valores en binario (como se apreciaba en la Figura 4.9); por lo que la distancia de Hamming, que mide el número de componentes que difieren de valor, resulta apropiada como medida de disimilitud. La expresión de la distancia de Hamming normalizada que se aplicará en esta etapa es:

$$D_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (P_R(i, j) \otimes Q_R(i, j) + P_I(i, j) \otimes Q_I(i, j))}{2(2N + 1)^2} \quad (4.3)$$

Donde P_R, Q_R es la característica real, y P_I, Q_I la característica imaginaria para los usuarios «P» y «Q», y $(2N + 1)^2$ el tamaño del filtro (y tamaño de cada característica).

En realidad, cada punto de las matrices de características se tendrá en cuenta para calcular el score únicamente si el valor de la máscara en el punto correspondiente no es nulo. Por tanto, la expresión siendo P_M y Q_M las máscaras de los usuarios «P» y «Q», queda:

$$D_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_M(i, j) \cap Q_M(i, j) \cap (P_R(i, j) \otimes Q_R(i, j)) + P_M(i, j) \cap Q_M(i, j) \cap (P_I(i, j) \otimes Q_I(i, j))}{2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_M(i, j) \cap Q_M(i, j)} \quad (4.4)$$

Para hacer el sistema más invariante frente a rotaciones y traslaciones de la zona palmar extraída, esta distancia se calcula varias veces trasladando horizontal y verticalmente una de las características sobre la otra (tantas posiciones horizontales «H» y verticales «V» como se fije en el sistema). Inicialmente se establece $H=V=2$, según se propone en [11]. Como distancia final se selecciona la distancia mínima obtenida en todas las comparaciones.

Tras aplicar esta medida de distancia se obtiene un valor entre 0 y 1, donde «0» indica la mayor similitud entre las características (o distancia nula) y «1» indica la menor similitud entre las mismas (o distancia máxima). Por lo tanto la «medida de similitud», puntuación o «score» obtenido entre dos imágenes de palmas será:

$$\text{SCORE} = 1 - D_{min}.$$

5

Experimentos realizados y resultados

En una primera fase de implementación del sistema de reconocimiento de huella palmar, cuyos detalles se exponen en el Capítulo 4, se establecieron los parámetros que se proponían en el artículo de referencia [11]. A partir de aquí, se realiza el trabajo experimental sobre el sistema de reconocimiento. Para ello, este capítulo se divide en tres secciones bien diferenciadas. La primera de ellas consiste en una descripción de la base de datos «PolyU Palmprint DataBase» que se ha utilizado durante la realización de todo el proyecto (en fases de diseño, desarrollo y experimentación del sistema). Después, se exponen los experimentos que se llevaron a cabo en fase de desarrollo, que tratan de evaluar el rendimiento total del sistema implementado y estudiar el efecto de la variación de determinados parámetros del sistema, con el fin de ajustarlos para optimizar el rendimiento. La última sección contiene «los experimentos de evaluación», que permiten extraer conclusiones acerca del comportamiento del sistema bajo determinadas circunstancias. Cada experimento consta de una descripción, el protocolo experimental, los resultados y las conclusiones extraídas del mismo. En general, los resultados de los experimentos se muestran en forma de Curvas DET (cuya definición se hizo en la Sección 2.3.2 del Capítulo 2).

5.1. Base de datos

La base de datos que se ha utilizado recibe el nombre de «Polytechnic University (PolyU) Palmprint Database». Se trata de una base de datos cedida por el Centro de Investigación Biométrico de la Universidad Politécnica de Hong-Kong. Para su realización se utilizó un dispositivo de captura con topes basado en una cámara CCD, desarrollado por este mismo equipo de investigación.

«PolyU Palmprint Database» consta de 7752 imágenes en color, de 386 palmas diferentes (ver ejemplos en Fig 4.5). El total lo completan las palmas izquierdas y derechas de 193 individuos, de los que 131 eran varones. En cuanto a la distribución de la edad, el 86 % tiene menos de 30 años, un 3 % tiene más de 50 años y el 11 % restante tiene una edad que comprende entre los 30 y 50 años. Por otro lado, las imágenes de la palmas se capturaron en dos sesiones. Cada individuo aportó alrededor de 20 imágenes (10 de la palma izquierda y 10 de la palma derecha) en cada sesión. Entre las sesiones, hubo un periodo de tiempo medio de dos meses, en el que se modificaron las condiciones de iluminación; cambiando la fuente de luz y ajustando el foco de la cámara. Los datos más relevantes sobre la base de datos se resumen en el Cuadro 5.1.

Cuadro 5.1: Características básicas de la base de datos PolyU Palmprint.

| | |
|--------------------------|-----------------------|
| Número de usuarios | 193 |
| Número de palmas | 386 |
| Número de sesiones | 2 |
| Imágenes por sesión | 20 (10 por palma) |
| Número total de imágenes | 7752 |
| Método de adquisición | dispositivo con topes |
| Tamaño de las imágenes | 384 x 284 píxeles |

La nomenclatura utilizada para las imágenes es: «*PolyU_ xxx_ L_ NN*», donde *xxx* es el único identificador de la palma (desde 001 a 386), *L* indica la sesión (mediante 'F' (First) si es la primera o 'S' (Second) si es la segunda) y *NN* corresponde el número de la muestra dentro de la sesión (de 00 a 12). No todos los usuarios tienen el mismo número de imágenes; así mismo, el número de muestras para un mismo usuario puede ser distinto entre sesiones.

5.2. Experimentos de desarrollo

Durante el desarrollo del sistema, se fijaron los parámetros a partir de los valores que se proponían en el artículo de referencia [11]. En esta sección, se muestran los experimentos de desarrollo que tratan de estudiar la forma en la que el rendimiento del sistema se ve afectado a causa de la variación de determinados parámetros. De entre ellos, los que más repercuten en el funcionamiento del sistema son:

- Parámetros del filtro (tamaño, θ , u , σ) cuyos valores se especificaban en el Cuadro 4.1.
- El tamaño de la región de interés (tamaño de la subimagen extraída dentro la imagen inicial adquirida). Inicialmente es de 128x128.
- El valor del factor de desplazamiento al calcular el score (Ver Sec 4.4). Inicialmente es de $H=V=2$.

En el artículo [21] se realiza un experimento con 12 filtros distintos variando los parámetros del filtro de Gabor: tamaño, orientación, frecuencia y desviación estándar. Uno de los filtros que obtuvo mejores resultados fue aplicado posteriormente en el sistema del artículo [11] y es, por tanto, el que se ha utilizado en el sistema implementado. De tal forma que, para el alcance de este proyecto, los más interesantes para ser objeto de experimentación son: el tamaño de la región de interés y el valor del factor de desplazamiento al calcular el score.

El rendimiento del sistema implementado, utilizando los valores de los parámetros establecidos inicialmente, es evaluado a continuación. A lo largo de esta sección, se va a utilizar la misma configuración experimental (ver Cuadro 5.2).

Cuadro 5.2: Configuración experimental durante los experimentos de desarrollo.

| | |
|--------------------------|---|
| Scores genuinos | Cada muestra de un usuario vs. el resto de que dispone ese usuario. |
| Scores impostores | Primera muestra de cada sesión de un usuario vs. la sexta muestra de todos los demás. |

5.2.1. Evaluación del sistema inicialmente implementado

En primer lugar, se realiza la evaluación del sistema que se obtuvo al finalizar la fase de diseño. Esto va a permitir establecer una referencia para posteriormente comparar el rendimiento cuando se varien los parámetros del sistema. La Figura 5.1 muestra los resultados del mismo.

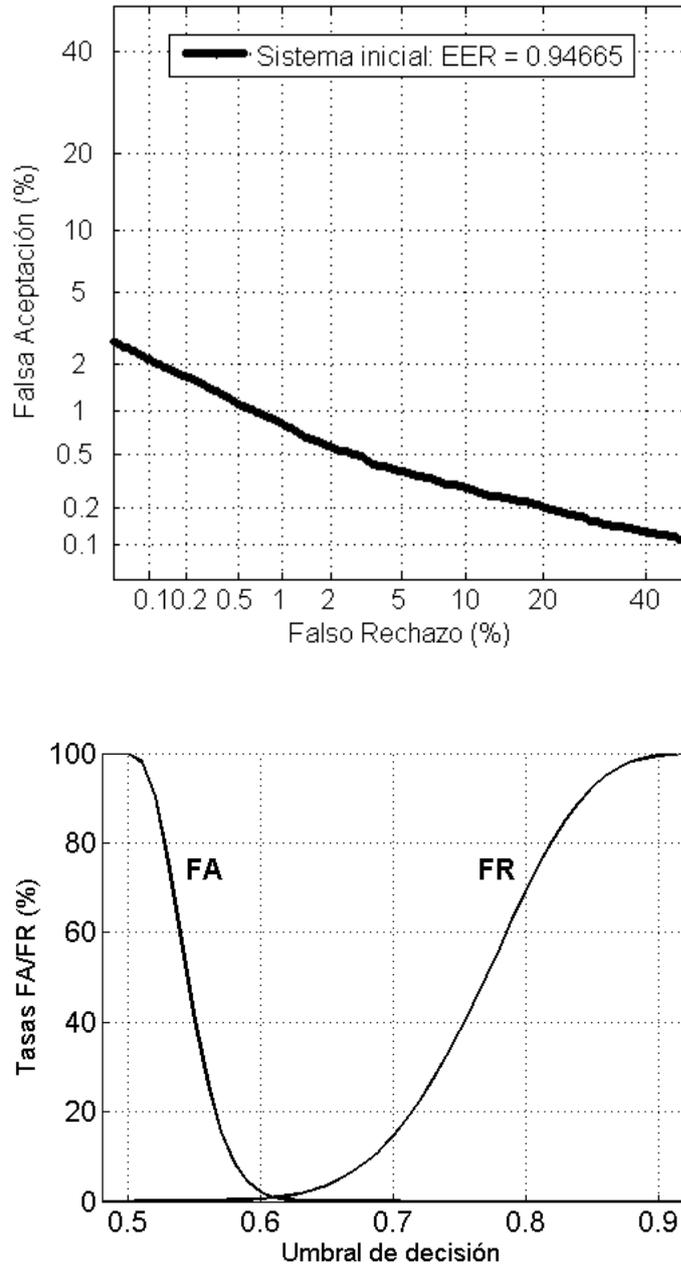


Figura 5.1: Evaluación del rendimiento del sistema inicialmente implementado: (a) Curva DET y (b) Distribución de los scores.

Como resultado, se obtiene un EER del 0.946 % y en la representación de las distribuciones de los scores se observa que éstos tienen un rango de variación de 0.5 (para las muestras con menor similitud) a 0.95 (para las muestras con mayor similitud). El sistema de referencia [11] obtuvo un EER del 0.6 %, lo que significa que no se ha obtenido una mejora en el rendimiento respecto a éste. La diferencia se debe a desigualdades en la etapa de Pre-Procesado de las imágenes; no obstante, mejorar el sistema de referencia no estaba entre los propósitos de este proyecto.

Cabe destacar que uno de los objetivos de este proyecto era conseguir un sistema de reconocimiento de huella palmar válido dentro del ámbito de aplicaciones como controles de acceso; en este punto, se considera que los resultados obtenidos en cuanto a porcentaje de error son suficientemente buenos para cumplir el objetivo propuesto.

5.2.2. Selección del tamaño de la región de interés.

El primero de los experimentos de desarrollo consiste en variar el tamaño de la imagen recortada que se obtiene a la salida del preprocesado (la única zona de la imagen adquirida que se tendrá en cuenta en las etapas de extracción de características y comparación). A priori, parece evidente que imágenes más pequeñas, que contienen menos información, generarán peores resultados.

El protocolo experimental figuraba en el Cuadro 5.2. Los tamaños de las imágenes (regiones de interés siempre cuadradas) seleccionados han sido: 100x100, 128x128 (valor del sistema inicial), 150x150 y 160x160. Estos tamaños se han elegido para representar el experimento; no obstante, en las pruebas se utilizaron los valores necesarios hasta encontrar el óptimo. La Figura 5.2 muestra un ejemplo comparativo de la región de interés de una misma palma según estos tamaños. El resultado de este experimento se refleja en la Figura 5.3.

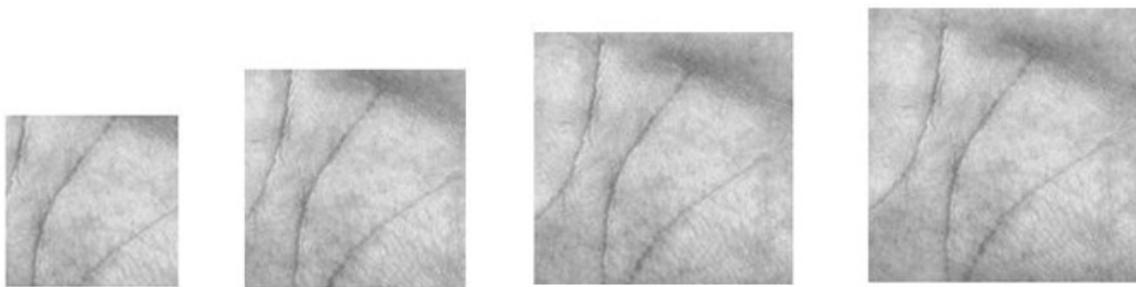


Figura 5.2: Ejemplo de una muestra para tamaños de la imagen preprocesada: 100x100, 128x128, 150x150, 160x160 (de izda a dcha).

A partir del resultado, se concluye que el tamaño de 150x150, para la región de interés, mejora el rendimiento respecto al sistema inicial (con un EER del 0.86 % frente al 0.96 % inicial). La relación del tamaño con el rendimiento es clara: el rendimiento mejora cuanto mayor es el área disponible de la región de la zona central de la palma; ya que se tiene más información. Para tamaños superiores a 150x150, la disminución en el rendimiento se debe a que la imagen salida del preprocesado incluye, para muchas muestras, zonas del fondo de la imagen (negras) que no contabilizan en el cálculo del score, debido a la máscara aplicada (ver Sec 4.3.2), con lo que al final la región palmar «útil» se reduce.

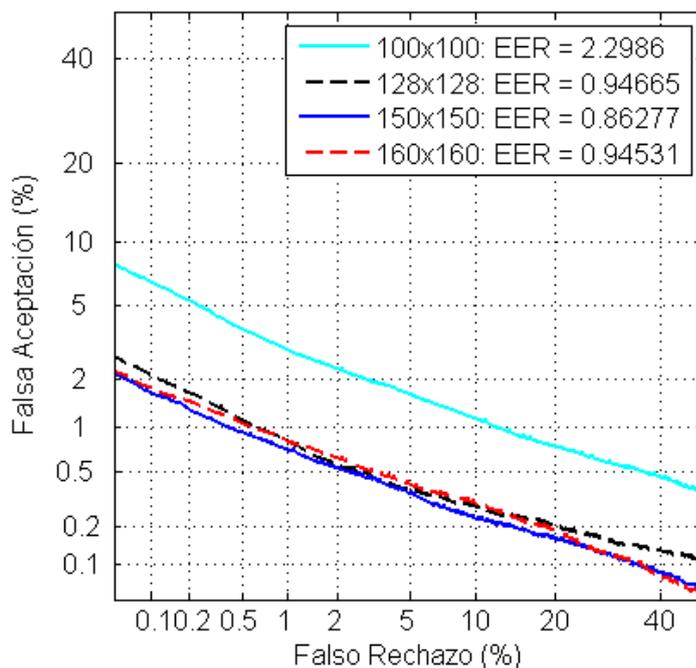


Figura 5.3: Comparación entre el rendimiento del sistema propuesto utilizando diferentes tamaños de la región de interés.

5.2.3. Selección del factor de desplazamiento al calcular el score.

El segundo experimento trata de seleccionar el valor óptimo para el factor de desplazamiento al calcular el score (ver Sec 4.4). En el experimento, se estableció que « $H=V$ » para todos los casos de prueba; es decir, se supone un único factor de desplazamiento denominado « F », ya que el desplazamiento horizontal y vertical será siempre igual.

El protocolo experimental aparece en el Cuadro 5.2. El resultado del experimento se muestra en forma de Curva DET en la Figura 5.4. Las conclusiones obtenidas del mismo son:

- La utilización de un factor de desplazamiento al calcular el score es un elemento clave para el correcto funcionamiento del sistema.
- Los mejores resultados se obtienen para factores de desplazamiento de 2 y 3.

La elección de uno u otro dependerá del punto de trabajo que requiera la aplicación que utilice el sistema. Si se supone que se trata de un control de acceso, en la mayoría de los casos convendría reducir el error por falsa aceptación a costa de incrementar el falso rechazo. A pesar de ello, se debería aplicar un FR superior al 10 % para comenzar a utilizar un factor de 3; por otro lado, un control de acceso requiere un reducido tiempo de respuesta y utilizar un factor mayor implica mayor número de operaciones de cómputo, jugando en contra del mismo. Por estos motivos, el valor finalmente seleccionado para el factor de desplazamiento es 2; es decir, continuará siendo el establecido en el sistema inicialmente implementado ($F=2$).

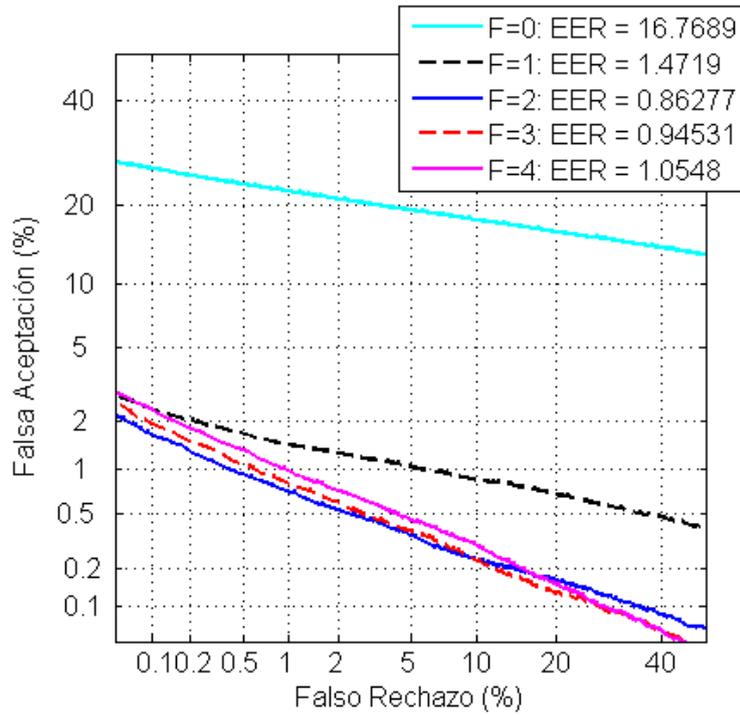


Figura 5.4: Comparación entre el rendimiento del sistema propuesto utilizando diferentes valores para el factor de desplazamiento.

Los parámetros del sistema final, que será el utilizado en la siguiente sección para los experimentos de evaluación, se resumen en el Cuadro 5.3.

Cuadro 5.3: Parámetros del sistema final de reconocimiento de huella palmar.

| | |
|--------------------------------|---|
| Parámetros del Filtro de Gabor | Tamaño = 35x35 $\theta = \pi / 4$ $u = 0.0916$ $\sigma = 5.61$ |
| Tamaño de la región de interés | 150x150 |
| Factor de desplazamiento, «F» | 2 |

5.3. Experimentos de evaluación

La segunda parte de la experimentación realizada en este proyecto tiene por objetivo evaluar el rendimiento del sistema finalmente implementado bajo determinadas condiciones de funcionamiento. En particular, se estudiará primero la variabilidad inter-sesión del mismo y por último, el efecto de un proceso de registro con varias realizaciones por usuario.

5.3.1. Estudio de la variabilidad inter-sesión.

Este experimento trata de medir la variabilidad inter-sesión del sistema, es decir, la forma en la que afecta al rendimiento del sistema que las muestras comparadas pertenezcan o no a distintas sesiones. En concreto, la diferencia entre sesiones para la base de datos utilizada es:

- Momentos temporales distintos (con una media de dos meses entre cada sesión).
- Distintas condiciones de iluminación del sensor.

La pregunta que intenta responder es: *¿Cuánto se verá perjudicado el rendimiento de un sistema que utilice una base de datos creada a partir de imágenes de palmas que se tomaron hace algún tiempo, incluso con otro tipo de sensor?*

Hasta este momento, se habían tenido en cuenta todas las muestras (de las dos sesiones) de todos los usuarios. Por contra, en este experimento se estudiará la diferencia en el rendimiento del sistema ante tres situaciones distintas:

1. Utilizando las muestras de las dos sesiones de forma conjunta, «modo de referencia».
2. Muestras de una sesión contra las de su misma sesión. Se trata de reducir la complejidad del problema, como si toda la base de datos se hubiese creado con muestras de la misma sesión y, por tanto, corresponde a la situación más optimista. Se denominará «modo intra-sesión».
3. Muestras de una sesión contra las de la otra sesión; lo que correspondería a una situación real de funcionamiento del sistema, en la que el modelo de usuario de la base de datos se construyó temporalmente antes que el modelo de test (en otra sesión). A priori, se puede comprender que el cambio de sesión genere una pérdida en el rendimiento total del sistema. Se denominará «modo inter-sesión».

De esta forma, el protocolo experimental utilizado en cada situación es distinto; y está contemplado en el Cuadro 5.4.

El resultado de este experimento es el representado en la Figura 5.5. En la Curva DET, el EER alcanzado en el modo intra-sesión es del 0,73 %, mucho menor que el modo inter-sesión, que experimenta un EER del 1,76 %. De hecho, la diferencia relativa del rendimiento entre los mismos se sitúa entorno al 60 %.

Aún así, al tratarse la huella palmar de un rasgo de tipo fisiológico, esta variabilidad perjudica menos el rendimiento del sistema que si se tratase de un rasgo de comportamiento, como puede ser la voz o la firma. En estos últimos, factores como el cansancio, el estado anímico o el estrés de las personas (que no son iguales entre sesiones distintas) hacen que la variabilidad inter-sesión aumente significativamente.

Cuadro 5.4: Configuración experimental para: *Estudio de la variabilidad inter-sesión.*

| SITUACIÓN 1: Modo de referencia | |
|---------------------------------|--|
| Modelo de usuario | Primera muestra de la primera sesión. |
| Scores genuinos | Últimas 5 muestras de cada sesión de un usuario vs. su propio modelo. |
| Scores de impostor | Modelo de usuario vs. sexta muestra (de cada sesión) del resto de usuarios. |
| SITUACIÓN 2: Modo intra-sesión | |
| Modelo de usuario | Primera muestra de la primera/segunda sesión. |
| Scores genuinos | Últimas 5 muestras de un usuario de la primera/segunda sesión vs. su propio modelo de la primera/segunda sesión. |
| Scores de impostor | Modelo de usuario de la primera/segunda sesión vs. sexta muestra de la primera/segunda sesión del resto de usuarios. |
| SITUACIÓN 3: Modo inter-sesión | |
| Modelo de usuario | Primera muestra de la primera/segunda sesión. |
| Scores genuinos | Últimas 5 muestras de un usuario de la segunda/primer sesión vs. su propio modelo de la primera/segunda sesión. |
| Scores de impostor | Modelo de usuario de la primera/segunda sesión vs. sexta muestra de la segunda/primer sesión del resto de usuarios. |

De esta manera, se puede presumir que el cambio en las condiciones del sensor entre las sesiones ha influido más en la pérdida del rendimiento que la diferencia temporal entre las mismas; ya que para las personas adultas las huellas palmares no experimentan variación a lo largo del tiempo. La Figura 5.6 trata de mostrar las diferencias entre imágenes preprocesadas (para un mismo usuario pero distinta sesión) provocadas por los cambios de iluminación del sensor.

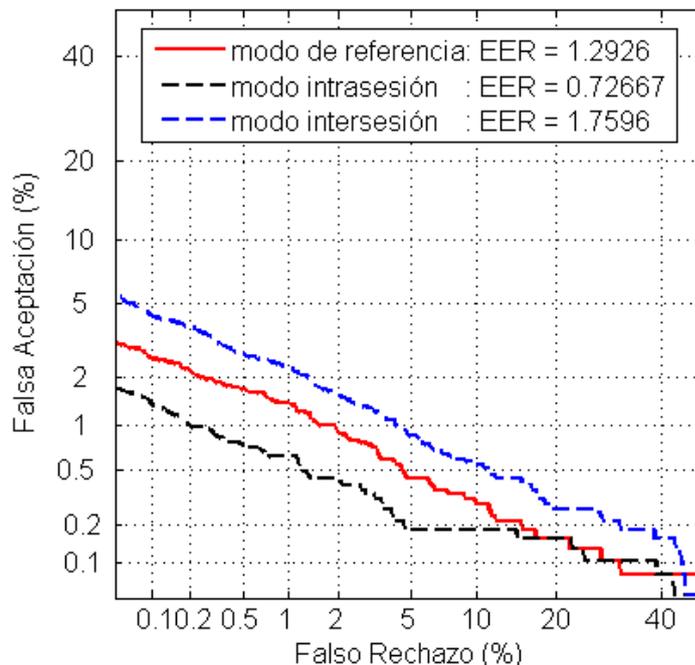


Figura 5.5: Estudio de la disminución del rendimiento por factores de variabilidad inter-sesión.

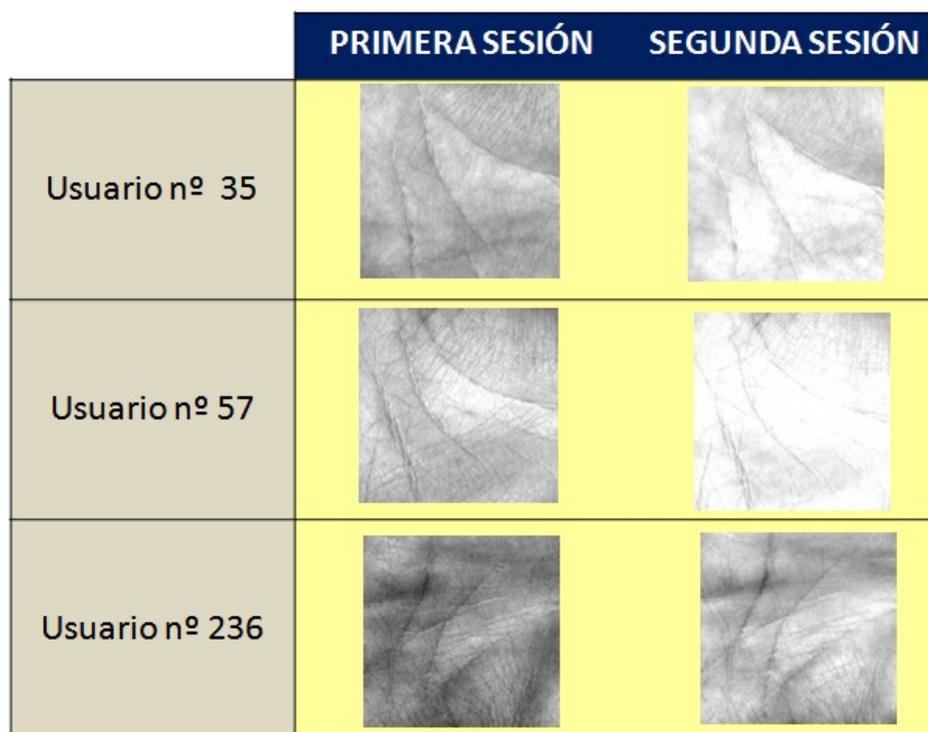


Figura 5.6: Cambio en las condiciones de iluminación del sensor entre sesiones: imágenes pre-procesadas de huellas palmares de distintos usuarios.

5.3.2. Estudio de un proceso de registro con varias realizaciones por usuario.

El objetivo de este experimento consiste en comprobar la forma en que mejora el rendimiento del sistema si durante el proceso de registro se realizan varias realizaciones por usuario, pudiéndose construir un modelo mediante la información de varias muestras (imágenes de palmas). La pregunta que trata de responder es: *¿Hasta qué punto conviene pedir a los usuarios varias muestras durante el proceso de registro para mejorar el rendimiento del sistema?*

Para ello se han realizado tres casos de prueba. En el primero, sistema inicial de referencia, solo se tiene una muestra para la realización del modelo de usuario; como se ha realizado hasta ahora. En el segundo, el modelo de usuario lo forman tres muestras; y en el tercer caso de prueba, se utilizan cinco muestras. El protocolo experimental que se ha aplicado en cada situación aparece en el Cuadro 5.5.

Los dos últimos casos de prueba intentan modelar un sistema multi-biométrico (ver Sec 2.3.3), en el sentido de que se hace uso de más de una fuente de información (distintas realizaciones) para realizar la tarea de reconocimiento.

La combinación de la información de las distintas fuentes se realizará a nivel de score. Por ejemplo, para el segundo caso de prueba, se compararía la muestra de test contra las tres muestras que forman el modelo. Después, se combinan los scores resultantes para sacar una sola puntuación con la que tomar la decisión. Esta combinación de scores se puede realizar de múltiples formas [22].

En este experimento, se han probado dos alternativas:

Cuadro 5.5: Configuración experimental para: *Estudio de un proceso de registro con varias realizaciones por usuario.*

| SITUACIÓN 1 (inicial): Una realización | |
|---|---|
| Modelo de usuario | Primera muestra de la primera sesión. |
| Scores genuinos | Últimas 5 muestras de cada sesión de un usuario vs. su propio modelo. |
| Scores de impostor | Modelo de usuario vs. sexta muestra (de cada sesión) del resto de usuarios. |
| SITUACIÓN 2: Tres realizaciones | |
| Modelo de usuario | Tres primeras muestras de la primera sesión. |
| Scores genuinos | Últimas 5 muestras de cada sesión de un usuario vs. su propio modelo. |
| Scores de impostor | Modelo de usuario vs. sexta muestra (de cada sesión) del resto de usuarios. |
| SITUACIÓN 3: Cinco realizaciones | |
| Modelo de usuario | Cinco primeras muestras de la primera sesión. |
| Scores genuinos | Últimas 5 muestras de cada sesión de un usuario vs. su propio modelo. |
| Scores de impostor | Modelo de usuario vs. sexta muestra (de cada sesión) del resto de usuarios. |

- El score final es la media de los scores resultantes (Figura 5.7).
- El score final es el máximo de los scores resultantes (Figura 5.8).

Comparando la Fig 5.7 y Fig 5.8, escoger el máximo como score final ha proporcionado mejores resultados.

En cuanto a las conclusiones a extraer de este experimento, son evidentes. Al utilizar varias muestras para formar el modelo de un usuario, el sistema se hace mucho más robusto y la mejora en el rendimiento es importante. De hecho, con 3 realizaciones ya se obtiene una mejora relativa de hasta un 56 % y con 5 realizaciones esta mejora aumenta hasta el 66 % respecto al sistema inicial. Por tanto, utilizar varias realizaciones para construir el modelo de usuario se convierte en una buena estrategia cuando se desea aumentar el rendimiento del sistema, a costa de aumentar el tiempo de respuesta del mismo (lo que puede resultar muy conveniente en multitud de aplicaciones).

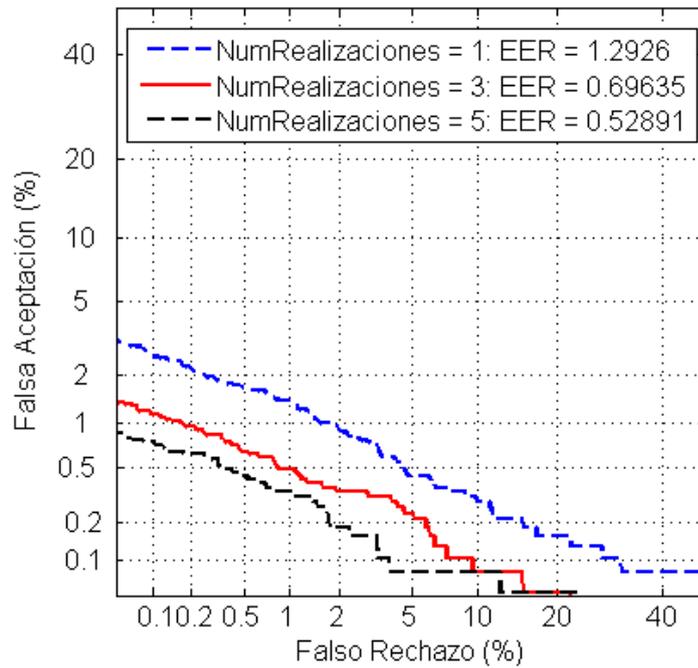


Figura 5.7: Estudio de la mejora en el rendimiento mediante un proceso de registro con varias realizaciones por usuario. Combinación a nivel de score escogiendo la **media** de los mismos.

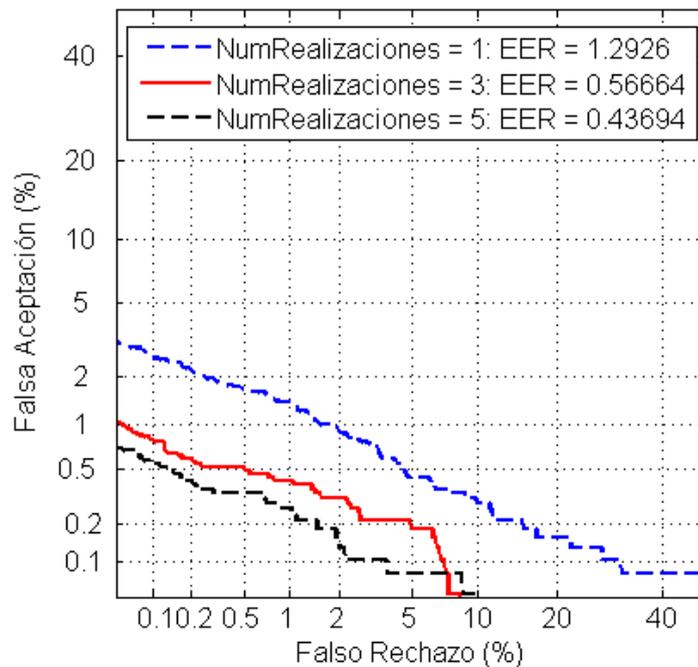


Figura 5.8: Estudio de la mejora en el rendimiento mediante un proceso de registro con varias realizaciones por usuario. Combinación a nivel de score escogiendo el **máximo** de los mismos.

6

Conclusiones y trabajo futuro

6.1. Conclusiones

La fiabilidad y seguridad en los métodos de identificación de personas se han convertido en una necesidad clave en la sociedad interconectada en la que vivimos. Frente a esta necesidad, los sistemas automáticos de reconocimiento biométrico han venido sustituyendo, cada vez más rápido desde las últimas décadas, a los sistemas de identificación tradicionales (basados en tarjetas de identificación o claves). El uso de la huella palmar como rasgo biométrico presenta ciertas ventajas (universalidad, alta aceptación social, facilidad de uso, etc.) frente a otros rasgos; que resultan muy útiles en determinadas aplicaciones, como pueden ser los controles de acceso. En este proyecto se ha realizado el diseño e implementación de un sistema biométrico de reconocimiento basado en imágenes de huellas palmares.

Los experimentos realizados han demostrado que el sistema implementado proporciona una identificación fiable en poblaciones de tamaño mediano. La base de datos utilizada durante la experimentación contaba con un total de 386 palmas y el EER finalmente alcanzado es de un 0.86 %. Esta cifra es similar a la que se expone en el artículo de referencia [11], donde se obtenía un 0.6 %. Si se compara el rendimiento conseguido con el de otros sistemas de reconocimiento biométrico de huella palmar, cuyos datos se resumían en el Cuadro 3.2 de la Sección 3.6, se puede apreciar que se sitúa dentro de los alcanzados por los sistemas que configuran el estado del arte actual. Además, el porcentaje de error resulta apropiado para una aplicación del tipo de un control de acceso (hacia la que se ha deseado enfocar el sistema).

El filtrado de Gabor en la etapa de extracción de características ha resultado ser una herramienta muy efectiva para extraer la textura de las imágenes. Tan solo ha sido necesario aplicar un Filtro de Gabor (con sus parámetros cuidadosamente seleccionados) para conseguir unos vectores de características suficientemente discriminantes. Por otro lado, el uso de la «textura» como la principal característica dentro de la huella palmar ha proporcionado claras ventajas frente a otro tipo de características (líneas principales, patrón de crestas, minucias, etc); entre ellas destacan:

- La posibilidad de trabajar con imágenes de poca resolución.
- La simplicidad de cómputo para extraer el vector de características.

Por tanto, utilizando la textura de la huella palmar, además de reducirse la complejidad del sistema de reconocimiento, se consigue que éste tenga un reducido tiempo de respuesta, que resulta un requisito fundamental para aplicaciones on-line.

Más en concreto, y en referencia al sistema de reconocimiento biométrico de huella palmar desarrollado en este proyecto, se han obtenido por medio de los experimentos (presentados en el Cap 5) las siguientes conclusiones:

- La etapa de preprocesado es la más crítica del sistema. Es necesario que, independientemente de la rotación o traslación que pueda sufrir la palma durante la adquisición, la imagen preprocesada que contiene la zona central de la palma (denominada «región de interés» a lo largo del documento) se extraiga utilizando un sistema de puntos de referencia que permita «compensar» el factor de rotación y traslación sufrido. Aunque se cuide al máximo esta etapa, se ha comprobado que el uso de un «factor de desplazamiento» que desplace una característica sobre la otra a la hora de calcular el score mejora significativamente el rendimiento del sistema. Un mayor factor de desplazamiento generará más comparaciones entre las mismas características, haciendo que el error por Falso Rechazo disminuya; pero si este factor es demasiado elevado provoca que el error por Falsa Aceptación aumente considerablemente. De esta forma, la elección de este factor dependerá de forma directa del punto de trabajo que necesite la aplicación donde se utilice el sistema biométrico. También en la etapa de preprocesado, es necesario seleccionar con precisión el tamaño de la región de interés puesto que será uno de los parámetros fundamentales que influyen en el correcto funcionamiento del sistema.
- Así mismo, para aumentar el rendimiento del sistema es vital cuidar las condiciones de adquisición. Durante la fase de experimentación se observó cómo el hecho de que el sensor esté regulado de forma distinta en cada sesión aumentó la variabilidad inter-sesión de la base de datos, provocando una caída en el rendimiento del sistema.
- Una estrategia sencilla pero eficaz de aumentar el rendimiento consiste en añadir complejidad en el proceso de registro; capturando varias muestras de cada usuario para, a partir de ellas, construir su modelo. En el sistema implementado en particular, la fusión de la información de las distintas realizaciones capturadas se realiza a nivel de score; de forma que se necesitan hacer tantas comparaciones con la imagen de test como realizaciones tenga el modelo. Esto aumenta levemente (porque las comparaciones entre las características tienen muy poca carga computacional) el tiempo de respuesta, pero provoca que el modelo sea mucho más robusto; mejorando notablemente el rendimiento.

6.2. Trabajo Futuro

A partir del trabajo realizado en el ámbito de este proyecto, se abren nuevas líneas de investigación. Las más interesantes se detallan a continuación:

- **Uso de medidas de calidad.** Consiste en realizar un procesamiento basado en calidad, por ejemplo ajustando el umbral de decisión en función de los parámetros de calidad seleccionados. Descartar de forma automática muestras inválidas según la medida de calidad obtenida sería otra posibilidad. Esto último permitiría avisar al usuario de la necesidad de adquirir una nueva imagen durante el proceso de registro/test, de forma que el proceso de adquisición no necesitara estar supervisado. Para la selección de las medidas de calidad aplicadas a la «textura de huella palmar», un posible punto de partida podría consistir en aplicar parámetros de calidad extensamente utilizados en huella dactilar.

- **Diseño y Desarrollo de un Sistema Biométrico Multimodal.** La fusión del sistema implementado con otro tipo de sistemas supone una interesante línea de investigación. En concreto, se proponen dos tipos de sistemas:
 - **Sistema multimodal usando múltiples rasgos.** El sistema de reconocimiento de huella palmar desarrollado en este proyecto se ha implementado utilizando la base de datos «PolyU Palmprint Database», que contiene imágenes de «palmas parciales» (seccionadas por los cuatro dedos superiores). No obstante, la etapa de preprocesado extrae la región central de la palma mediante la búsqueda de las separaciones entre los dedos; de forma que, se podría utilizar igualmente el sistema con una base de datos de palmas completas. En este sentido, se propone fusionar el sistema implementado con el sistema de reconocimiento basado en «geometría de la mano» ya desarrollado por el Área de Tratamiento de Voz y Señales [23].

 - **Sistema multimodal usando múltiples características.** El sistema implementado utiliza la «textura» de la huella palmar como principal y única característica para construir el vector de características y, de esta forma, realizar la tarea de reconocimiento. Sin embargo, existen otras muchas características que pueden extraerse de una huella palmar y resultar lo suficientemente discriminantes (ver Sec 3.3). De esta forma, se propone realizar un sistema utilizando otro tipo de característica (p.ej. líneas principales) y combinar la información de los dos sistemas para finalmente obtener una puntuación en la que se base la decisión.

Bibliografía

- [1] Anil K. Jain, Arun Ross, and Salil Prabhakar. An introduction to biometric recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology.*, 14(1), 2004.
- [2] Chin-Chuan Han, Hsu-Liang Cheng, Chih-Lung Lin, and Kuo-Chin Fan. Personal authentication using palm-print features. *Pattern Recognition* 36, 371 - 381, 2003.
- [3] S. L. Eddins, R. C. Gonzalez, and R. E. Woods. *Digital image processing using Matlab*. Prentice Hall, 2004.
- [4] Anil K. Jain, Patrick J. Flynn, and Arun Ross. *Handbook of Biometrics*. Springer, 2007.
- [5] S. Nanavati, M. Thieme, and R. Nanavati. Biometrics: Identity, verification in networked world. *Wiley*, 2002.
- [6] John D. Woodward, Nicholas M. Orlans, and Peter T. Higgins. Biometrics: Identity assurance in the information age. *McGraw-Hill/Osborne*, 2003.
- [7] De-Shuang Huang, Wei Jia, and David Zhang. Palmprint verification based on principal lines. *Pattern Recognition* 41 1316-1328, 2008.
- [8] P. Komarinski. Automated fingerprint identification systems (afis). *Academic Press*, 2004.
- [9] NSTC Subcommittee of Biometrics. Palm print recognition. 2006.
- [10] Anil K. Jain, Fellow, IEEE, and Jianjiang Feng. Latent palmprint matching. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, VOL. 31, NO. 6, June 2009.
- [11] David Zhang, Wai-Kin Kong, Jane You, and Michael Wong. Online palmprint identification. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, VOL. 25, NO. 9, September 2003.
- [12] K.Krishneswari and S.Arumugam. A review on palm print verification system. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications (IJCISIM)*, ISSN: 2150-7988 Vol.2, pp.113-120, 2010.
- [13] A. Kong, D. Zhang, and M. Kamel. Palmprint identification using feature level fusion. *Pattern Recognition* 39 478-487., ISSN: 2150-7988 Vol.2, pp.113-120, 2006.
- [14] Tee Connie, Andrew Teh Beng Jin, Michael Goh Kah Ong, and David Ngo Chek Ling. An automated palmprint recognition system. *Image Vision Comput.* 23 (5), 501-515., 2005.
- [15] Guangming Lu, David Zhang, and Kuanquan Wang. Palmprint recognition using eigenpalms features. *Pattern Recognition Letters* 24, 1463-1467, 2003.
- [16] Jane You, Wenxin Li, and David Zhang. Hierarchical palmprint identification via multiple feature extraction. *Pattern Recognition* 35, 847-859, 2002.

- [17] Nicolae Duta, Anil K. Jain, and Kanti V. Mardia. Matching of palmprints. *Pattern Recognition Letters, Vol. 23(4)*, pp. 477-485, 2002.
- [18] J. Funada et al. Feature extraction method for palmprint considering elimination of creases. *in Proc.14th ICPR. 1998*, pp. 1849-1854.
- [19] D Gabor. Theory of communication. *Journal of Institute for Electrical Engineering 93, part III (26)*. p. 429-457., 1946.
- [20] J.G. Daugman. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, VOL. 15, NO. 11.*, November 1993.
- [21] Wai Kin Kong, David Zhang, and Wenxin Li. Palmprint feature extraction using 2d gabor filters. *Pattern Recognition 36*, 2339 - 2347., 2003.
- [22] J. Fierrez-Aguilar. *Adapted Fusion Schemes for Multimodal Biometric Authentication*. Universidad Politecnica de Madrid., May 2006.
- [23] J. Burgues. *Reconocimiento biometrico de personas basado en imagenes de la mano*. Universidad Autonoma de Madrid., 2010.



Presupuesto

| | |
|--|---------|
| 1) Ejecución Material | |
| ▪ Compra de ordenador personal (Software incluido) | 2000 € |
| ▪ Material de oficina | 200 € |
| ▪ Total de ejecución material | 2200 € |
| 2) Gastos generales | |
| ▪ 16 % sobre Ejecución Material | 352 € |
| 3) Beneficio Industrial | |
| ▪ 6 % sobre Ejecución Material | 132 € |
| 4) Honorarios Proyecto | |
| ▪ 1200 horas a 15 €/ hora | 18000 € |
| 5) Material fungible | |
| ▪ Gastos de impresión | 150 € |
| ▪ Encuadernación | 200 € |
| 6) Subtotal del presupuesto | |
| ▪ Subtotal Presupuesto | 20550 € |
| 7) I.V.A. aplicable | |
| ▪ 18 % Subtotal Presupuesto | 3699 € |
| 8) Total presupuesto | |
| ▪ Total Presupuesto | 24249 € |

Madrid, Marzo 2012
El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: María Mérida Aguilera
Ingeniero Superior de Telecomunicación



Pliego de condiciones

Pliego de condiciones

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de un sistema de *Reconocimiento Biométrico Basado en Imágenes de Huellas Palmares*. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

Condiciones generales.

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.
2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.
3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.
4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.
5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.

-
6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.
 7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.
 8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.
 9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.
 10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.
 11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.
 12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.
 13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.
 14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.
 15. La garantía definitiva será del 4 % del presupuesto y la provisional del 2 %.
 16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

-
17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.
 18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.
 19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.
 20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.
 21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.
 22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.
 23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrata" y anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

Condiciones particulares.

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.
2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.
3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.

-
4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.
 5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.
 6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.
 7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.
 8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.
 9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.
 10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.
 11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.
 12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.

