



Universidad de Granada

Escuela Técnica Superior de Ingiernería Informática y
Telecomunicaciones

Trabajo Fin de Master

Reconocimiento de personas a través del iris en condiciones no ideales

Autor:

Manuel Jesús García Manday

Tutor:

Dr. Miguel García Silvente

Granada, septiembre de 2017

Declaration of Authorship

Considerando que la presentación de un trabajo hecho por otra persona o la copia de texto, fotos y gráficas sin citar su procedencia se considera plagio, el abajo firmante D. **Manuel Jesús García Manday** con DNI **48893432D**, que presenta el Trabajo Fin de Máster con el título **Reconocimiento de personas a través del iris en condiciones no ideales**, declara la autoría y asume la originalidad de este trabajo, donde se ha utilizado distintas fuentes que han sido todas citadas debidamente en la memoria.

Y para que así conste firmo el presente documento en Granada a

El autor:

«Thanks to my solid academic training, today I can write hundreds of words on virtually any topic without possessing a shred of information, which is how I got a good job in journalism.»

Dave Barry

University Name

Resumen

Faculty Name

Department or School Name

Doctor of Philosophy

Thesis Title

by John Smith

The Thesis Abstract is written here (and usually kept to just this page). The page is kept centered vertically so can expand into the blank space above the title too...

Acknowledgements

The acknowledgments and the people to thank go here, don't forget to include your project advisor...

Índice general

Declaración de autoría y originalidad	III
Resumen	VII
Acknowledgements	IX
1. Introducción general y motivación	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivo y motivación	3
1.3. Descripción de la memoria	5
2. Reconocimiento de iris	7
2.1. Sistemas de reconocimiento	8
2.1.1. Reconocimiento de patrones	12
2.1.2. Componentes de los sistemas de reconocimiento de patrones ..	14
2.2. Biometría	16
2.2.1. Sistemas biométricos	16
2.2.2. Anatomía del iris	18
2.3. Reconocimiento de iris	20
2.3.1. Etapas del reconocimiento de iris	21
2.4. Reconocimiento de iris en condiciones no ideales	24
2.4.1. Factores de calidad	25
3. Tecnologías y herramientas en el reconocimiento de iris	29
3.1. Introducción	29
3.2. OpenCV	30
3.3. Boost	31
3.4. USIT	31

3.5. CASIA-Iris	37
A. Frequently Asked Questions	41
A.1. How do I change the colors of links?	41

Índice de figuras

2.1. Primeros sistemas de reconocimiento.	10
2.2. La tecnología magnética en los sistemas de reconocimiento.	10
2.3. La tecnología digital en los sistemas de reconocimiento.	11
2.4. Esquema general de un sistema de reconocimiento de patrones.	15
2.5. Cuota de mercado de las modalidades de sistemas biométricos.	18
2.6. Anatomía del iris.	20
2.7. Diagrama de flujo de un sistema de reconocimiento de iris.	21
2.8. Imágenes de iris afectadas por factores de calidad.	25
3.1. Imágenes de la base de datos CASIA-IrisV4.	39

Índice de cuadros

List of Abbreviations

LAH List Abbreviations Here

WSF What (it) Stands For

Physical Constants

Speed of Light $c_0 = 2.997\,924\,58 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ (exact)

List of Symbols

a	distance	m
P	power	W (J s^{-1})
ω	angular frequency	rad

For/Dedicated to/To my...

Capítulo 1

Introducción general y motivación

1.1. Introducción

El reconocimiento de personas es una técnica de identificación que el hombre lleva desarrollando desde hace muchos años con el objetivo de encontrar una solución fiable y eficiente ante las situaciones de verificación e identificación que se producen en el control de acceso a lugares limitados o en el intercambio de información relevante. Actualmente, todos los sistemas implementan este tipo de técnica como medida de seguridad para comprobar la autenticación de un usuario ante una acción en el mismo.

Son varios los métodos y mecanismos que a lo largo de la historia se han empleado para identificar de manera única a una persona, comprobando así de forma correcta que dicha persona dice ser quien es. Desde el uso de señales de luz, señales de manos, señales de voz, sellos de institución, etc, como parte de los sistemas de reconocimiento más antiguos, hasta pasar por el uso de tarjetas con bandas electromagnéticas, códigos de acceso, contraseñas y demás en los sistemas de reconocimiento actuales aprovechando de este modo la evolución de la tecnología.

La aparición de la biometría hace que se comiencen a explorar las múltiples características que aporta la anatomía del ser humano que pueden ser medidas para posteriormente tratarlas como información. Son muchos los rasgos y atributos que presenta una persona de manera única y diferente con respecto a las demás como

son la huella dactilar y el iris del ojo entre otros, así como también lo es el comportamiento. Con la biometría se intenta aprovechar las ventajas que presentan las propiedades fisiológicas de una persona para emplearlas en situaciones reales como los sistemas de reconocimiento.

Esta nueva tecnología hace que se produzca un vuelco en los sistemas de reconocimiento tradicionales apareciendo entonces los sistemas basados en el reconocimiento biométrico. Estos sistemas se basan en la aplicación de técnicas de visión por computador y de técnicas de inteligencia artificial. Dentro de este amplio campo existen diferentes modalidades de biometría que dependen de la zona fisiológica estudiada como puede ser el reconocimiento de huellas dactilares, reconocimiento de rostros, reconocimiento de retina, reconocimiento de iris, reconocimiento de voz, reconocimiento de firma y reconocimiento de la forma de andar.

En este ámbito, el reconocimiento de personas a través del iris se convierte en la modalidad biométrica que mayor popularidad ha alcanzado sobre las demás, debido en gran parte a las numerosas propiedades particulares que esta región del ojo humano presenta: es invariable en el tiempo, es externamente visible y posee características altamente discriminantes que son imposibles de modificar por medios no quirúrgicos; inclusive algunos métodos quirúrgicos en el ojo como operaciones de cataratas mantienen constante la textura del iris. El fuerte auge que el reconocimiento a través del iris ha experimentado en los últimos tiempos ha hecho que una gran cantidad de empresas líderes en el sector de aplicaciones de seguridad hayan introducido esta tecnología biométrica en el mercado.

Aunque parezca reciente la idea de utilizar el iris como propiedad para identificar a una persona, cabe destacar que esta data de finales del siglo XIX, siendo el 1982 el inspector Alphonse Bertillon del departamento de policía de París en Francia desarrolló un estudio sobre la utilización de 3 clases principales de iris para el reconocimiento de convictos. El oftalmólogo Burch presentó con posterioridad en 1936 nuevas evidencias de las ventajas de utilizar el iris para reconocimiento de personas. Los oftalmólogos Flom y Safir documentaron y patentaron el concepto general

del reconocimiento de iris varias décadas después. Sobre estas bases, el profesor John Daugman desarrolló el primer algoritmo para reconocimiento de iris en 1989 patentándolo luego en 1994. Es por esta razón por la que John Daugman es considerado un pionero en este campo de investigación y sus trabajos representan las bases teóricas de muchas aportaciones que se han presentado sobre reconocimiento de iris.

En la actualidad, el reconocimiento del iris es uno de los avances más interesante y fiable dentro del reconocimiento de personas, constituyendo un amplio campo de estudio que irá progresando con el paso del tiempo.

1.2. Objetivo y motivación

El fuerte impacto producido por los sistemas de reconocimiento biométricos ha supuesto que hasta la actualidad se hayan desarrollado diversas propuestas y soluciones capaces de realizar un correcto reconocimiento de personas a través del iris.

Es por ese motivo por lo que surge una nueva vía en torno al reconocimiento biométrico de este tipo de sistemas. Hasta ahora los sistemas existentes que son capaces de reconocer a una personas a través de las propiedades extraídas de su iris lo hacen en condiciones ideales donde no aparece ningún factor externo que pueda afectar a la calidad de este. Estos sistemas proporcionan una tasa de acierto muy alta con un elevado porcentaje de precisión, lo que los convierte en sistemas altamente fiables. De esta situación hace que aparezca la idea de proponer una nueva línea de investigación dentro de este campo donde se estudie y analice la posibilidad de desarrollar un método capaz de reconocer a una persona a través de su iris en condiciones no ideales donde puedan existir agentes externos como la luz, la oclusión de párpados, etc, capaces de alterar las propiedades de la textura de este provocando con ello errores en la autenticación.

Situado en este ámbito, el presente Trabajo Fin de Master propone un nuevo método de extracción de características con el objetivo de integrarlo en un sistema de reconocimiento de iris en condiciones no ideales que se capaz de conseguir reducir la tasa de falsos aciertos que estos sistemas presentan. El método que se plantea cubre una sola etapa de un sistema de reconocimiento de esta modalidad, por lo que será necesario hacer uso de una serie de herramientas que nos facilite la implementación del resto.

Se utilizará la base de datos **CASIA-IrisV4-Interval** la cual contiene un conjunto de imágenes de iris en condiciones no ideales afectadas por factores externos como la luz, la oclusión de pestañas, etc. Se hará también uso de la librería **USIT** en la versión **1.0.3** para emplear sus métodos y algoritmos en la desarrollo del resto de los componentes del sistema de reconocimiento junto con el método de extracción de características sobre el que se basa este Trabajo Fin de Master.

Por último, se realizarán una serie de experimentaciones empleando en el sistema de reconocimiento el método propuesto desarrollado y los métodos que la librería **USIT** en la versión **1.0.3** expone para comparar los resultados obtenidos en todos los supuestos.

A modo de resumen, la finalidad de este Trabajo Fin de Master se puede descomponer en varios objetivos específicos:

- Desarrollar un estudio de las tecnologías y herramientas existentes para el campo del reconocimiento del iris en condiciones no ideales.
- Proponer un nuevo método para la extracción de características discriminantes del iris.
- Integrar el método propuesto en una aplicación de reconocimiento de iris en condiciones no ideales con las tecnologías y herramientas existentes para comprobar los resultados.

- Validar el método propuesto de extracción de características respecto a los existentes en el estudio realizado.

1.3. Descripción de la memoria

Para estructurar correctamente esta memoria, se ha organizado la misma en 5 capítulos donde el contenido es distribuido con la intención de presentar cada punto de manera clara y concisa. El presente capítulo introduce el argumento de este Trabajo Fin de Master.

En el **Capítulo 2**, “*Reconocimiento del iris*”, se describirá los sistemas de reconocimiento en global, desde los básicos a los basados en reconocer patrones anatómicos . Se presentarán las bases de la biometría del iris para el reconocimiento de personas. También se describen los aspectos relacionados en un sistema de reconocimiento de personas basado en el iris.

En el **Capítulo 3**, “*Tecnologías y herramientas en el reconocimiento del iris*”, se presentan las herramientas existentes para esta modalidad de sistema de reconocimiento. Se describirá la base de datos **CASIA-IrisV4-Interval** de donde se tomarán las imágenes de iris en condiciones no ideales. También se describirá la librería **USITv1.0.3** desde la que se utilizará los métodos y algoritmos propuestos para realizar las diferentes etapas de un sistema de reconocimiento de esta índole.

En el **Capítulo 4**, “*Extracción de características del iris*”, se presentará y evaluará el método propuesto para extraer las propiedades de una textura de iris. Se describirá también su integración en una aplicación de reconocimiento basado en el iris para conocer su comportamiento a través de una serie de experimentaciones.

En el **Capítulo 5**, “*Conclusiones y trabajos futuros*”, se describirán las conclusiones del presente Trabajo Fin de Master, así como varias líneas interesantes para un estudio futuro.

Capítulo 2

Reconocimiento de iris

La creciente demanda en cuanto a sistemas de seguridad se refiere unido a la necesidad de satisfacer las exigencias que estos presentan ha permitido que la identificación de personas basada en características biométricas haya experimentado un creciente desarrollo durante las últimas décadas. Los sistemas biométricos tienen el objetivo de realizar una correcta identificación de cada individuo, utilizando para ello diferentes características fisiológicas o de comportamiento del mismo tales como huellas digitales, rostro, patrón de escritura, retina, iris, geometría de la mano, etc.

Debido a las propiedades de única, invariable y accesible que presenta las características del patrón del iris, la identificación personal basada en este modelo estructural se ha convertido en una de las técnicas mas confiable y segura dentro del paradigma del reconocimiento de personas[12] [7] [14] [19] [1].

Actualmente son muchos los sistemas de reconocimiento basados en el iris desarrollados tanto de manera comercial como no comercial, siendo el distribuido por Iridian Technologies [17] el más existoso comercialmente. Este sistema se basa en los algoritmos patentados y desarrollados por Daugman [12], los cuales son la base teórica de la mayoría de sistemas de reconocimiento de esta modalidad, y que incluye el desarrollo de todas las etapas que conforman este tipo de sistemas. Existe también una serie de implementaciones de sistemas de reconocimiento de iris no comerciales que aunque no son tan conocidos como el anteriormente comentado es interesante mencionarlos ya que proponen diferentes algoritmos de segmentación, codificación y comparación que algunas librerías los desarrollan. Entre estos podemos destacar

los sistemas propuestos por Wildes [19] , Boles y Boashash [7], Sanchez et al. [10] y Ma et al. [14].

2.1. Sistemas de reconocimiento

El amplio campo que abarcan los sistemas de reconocimiento ha generado que se haya ido pasando de los más rudimentarios como el uso de una palabra clave o algún tipo señal, hasta los mas avanzados que actualmente se desempeñan en el área de la biometría. El acto de limitar el acceso a ciertos lugares para unos individuos concretos o transmitir información de manera segura a la persona indicada, son algunas de las situaciones donde los sistemas de reconocimiento son empleados. Globalmente, su uso viene determinado por dos procesos, un primer proceso de verificación y un segundo proceso de identificación.

A través del proceso de verificación se valida la identidad de un individuo comparando si los datos de entrada cumplen con la estructura de tipo de dato que el sistema está esperando. En general, el usuario indicará su identidad mediante un número de identificación personal, un nombre de usuario, un código, un escaner de retina, etc, dependiendo del tipo de sistema de reconocimiento que esté implantado. Posteriormente el sistema realizará una comparación para determinar si el individuo es quien dice ser. Este proceso puede dar lugar a la aparición de dos posibles errores; un falso rechazo (FRR) producido cuando el sistema indica que la información de entrada adquirida del usuario no coindice con la estructura de información que tiene que recibir, cuando realmente si corresponde, y una falsa aceptación (FAR) que es complementario al falso rechazo y es producida cuando el sistema indica que la información de entrada adquirida del usuario si se corresponde con la estructura de información que tiene que recibir, cuando realmente no concuerdan.

Mediante el proceso de identificación, el sistema comprueba que la información de entrada facilitada por el usuario coincide con alguno de los modelos de datos almacenados en la base de datos del mismo. El sistema decidirá si el usuario está

o no en la base de datos. Hay que tener en cuenta que este proceso es mucho más costoso computacionalmente que el anterior debido a que será proporcional al número de entradas que contenga la base de datos.

Los primeros sistemas de reconocimiento se basaban en simples acciones realizadas por la persona que se quería identificar como una señal con la mano, una señal de luz, un código escrito, una palabra clave, etc, lo que permitía a la otra parte comprobar que la persona era quien dice ser. Pronto comenzaron a surgir los problemas con este tipo de sistemas de reconocimiento ya que eran muy poco seguros y fiables de cara a la persona que ostentaba las credenciales. En esta tesitura, cualquier persona interesada en suplantar la identidad de otra podría reproducir el tipo de señal con la mano o de luz que esta utilizara para acceder con su identidad, del mismo modo que era posible conocer el código empleado así como la palabra clave. También se podría dar el caso de que la persona olvidara el tipo de señal, la palabra o el código que la identifican, impidiéndole de esta manera el poder realizar cualquier acción que necesitará de una previa identificación.

Todos estos problemas fueron solventados con la aparición de la tecnología magnética. El que la información estuviese contenida en una banda magnética organizada en diferentes pistas hacía que no se pudiesen dar los casos sucedidos con los sistemas de reconocimientos tradicionales. En este ámbito, el uso de la tarjeta magnética era el medio utilizado en los sistemas de reconocimiento. Una tarjeta que poseía una banda magnética donde se almacenaba un código y que era leído a través de un lector con el que se podía extraer dicha información e identificar rápidamente a la persona que la portaba. Durante muchos años los sistemas de reconocimiento utilizaron este dispositivo como medio donde la información de identificación iba contenida.

El gran avance que experimentó la informática y la electrónica con el paso de los años hizo que los sistemas de reconocimiento a través de bandas magnéticas comenzasen a sufrir problemas de seguridad a raíz de la alta posibilidad que existía para suplantarlos. A este problema se unía el desgaste físico que se originaba en las bandas magnéticas a causa de su frecuente uso. Esto podía producir daño en la



(a) Señal con la mano

(b) Señal con luz



(c) Código escrito

Figura 2.1: Primeros sistemas de reconocimiento.

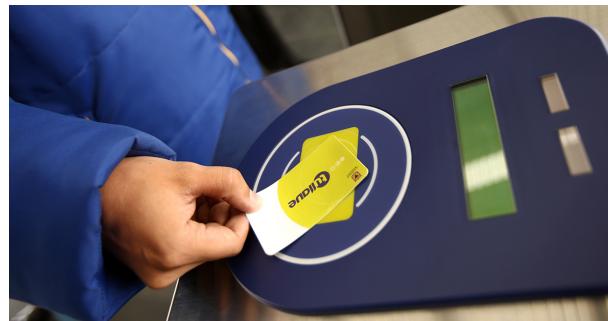
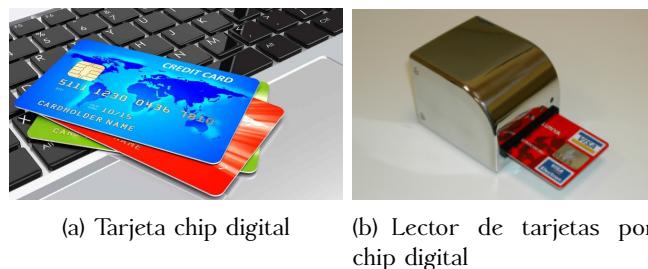


(a) Tarjeta con banda magnética

(b) Lector de tarjetas por banda magnética

Figura 2.2: La tecnología magnética en los sistemas de reconocimiento.

información almacenada en dichas bandas produciendo errores en la identificación. Fue en este punto cuando la tecnología digital apareció para dar solución a todos los inconvenientes que el uso de la tecnología magnética presentaba. La implantación de los chips digitales en los medios empleados por los sistemas de reconocimiento consiguieron dotar de una mayor seguridad y consistencia a estos sistemas, a la vez que hacía mas rápido todo el proceso de indentificación. Dispositivos como las tarjetas con banda magnética comenzaron incorporar este tipo de tecnología, al igual que los lectores tuvieron que actualizarse para extraer esa información. En este mismo entorno la tecnología digital progresó hasta la conexión entre dispositivos de manera inhalámbrica, es decir, los mismos dispositivos como las tarjetas se comunicaban con los lectores sin contacto físico, solo situándose a corto alcance.



(c) Lector de tarjetas por chip digital wireless

Figura 2.3: La tecnología digital en los sistemas de reconocimiento.

Nuevamente, la seguridad volvía a poner en duda los dispositivos empleados para contener la información de identificación de una persona. Los sistemas de reconocimiento basados en este tipo de dispositivos quedaban de esta manera expuestos a vulnerabilidades que podían desembocar en suplantaciones de indentidad. Todo esto era debido al gran avance tecnológico que se estaba produciendo, lo que hacía que sistemas que eran muy seguros en el momento de aparición de esa tecnología, con el

paso del tiempo se conviertesen en obsoletos y débiles. Esto suponía que una nueva innovación en este sentido tendría una fuerte acogida al comienzo pero un nuevo declive con el paso del tiempo debido a los problemas de seguridad que se presentarían.

Este motivo hizo pensar en las características anatómicas que posee el ser humano como posible solución final a todos esos problemas. Esta propuesta cubría todas las condiciones que las anteriores no alcanzaban ya que presentaba propiedades de invariabilidad en el tiempo; lo que permitía que la persona mantuviera sus mismas características a lo largo de su vida, la imposibilidad de modificarlo o suplantarla ya que son innatos a la persona que los tiene, etc. De todo esto surgió la idea de utilizar zonas del cuerpo humano como fuentes de información para los sistemas de reconocimiento a través de los patrones que estas describen. Así, partes de la fisiología de la persona como la huella dactilar, la retina, el iris, la palma de la mano e incluso la manera de andar constituyan un gran almacen de datos que posibilitaría la identificación en los sistemas de reconocimiento. Con este nuevo medio de depósito de los datos, la seguridad, fiabilidad y consistencia de la información aumentaba en los sistemas de información, quedando entonces del lado de ellos los errores que se produjeran por una mala identificación.

El empleo de patrones de las características anatómicas del ser humano son la base de los actuales sistemas de reconocimiento. Estos se centran actualmente en mejorar los algoritmos empleados en el reconocimiento intentando conseguir una buena práctica y manejo de la información.

2.1.1. Reconocimiento de patrones

El reconocimiento de patrones es la ciencia que se encarga de la descripción y clasificación (reconocimiento) de objetos, personas, señales, representaciones, etc. Esta ciencia trabaja en base un conjunto previamente establecido de todos los posibles objetos (patrones) individuales a reconocer. El ámbito de las aplicaciones basadas en el reconocimiento de patrones es muy amplio, siendo sin embargo las análogas al ser humano las que copan la mayor relevancia. El reconocimiento de patrones se

da tanto en sistemas biológicos como en sistemas dotados de inteligencia. Un claro ejemplo biológico lo vemos cuando en nuestro organismo los anticuerpos atacan a intrusos externos a los cuales reconoce a través del uso de patrones, en esta misma tesitura también se da el reconocimiento de patrones cuando nuestros oídos captan el habla y el sonido siendo capaz de interpretarlo. Del mismo modo, en situaciones que suceden en la naturaleza como cuando se produce la captura de las presas por parte de los animales se da el reconocimiento de patrones para conocer y diferenciar los tipos de presas. Este tipo de ejemplo llevado a los sistemas artificiales los podemos ver en los lectores de caracteres óptico (OCR) que son capaces de comprender el texto escrito y de como incluso las máquinas son capaces de enfrentarse a obstáculos y reconocer el diseño y características de estos. Cuando los patrones son de una naturaleza visual, el reconocimiento de patrones puede considerarse como un complemento en las técnicas de visión por computador proporcionando las capacidades de interpretación y clasificación [5].

El reconocimiento de patrones está ligado estrechamente con las redes neuronales. El nuevo interés a principios de los años 80 en las redes neuronales y el conexionismo como una alternativa al reconocimiento de patrones estadísticos y la inteligencia artificial (IA) puede atribuirse a dos factores. El primero es la realización que una función de aproximación de suficiente complejidad puede aproximarse a cualquier función objetivo con una precisión arbitraria. El segundo factor indica la capacidad para entrenar redes multicapas y no lineales usando backpropagation [5].

Como se puede observar, el reconocimiento de patrones es la base teórica más importante de la biometría, de cómo esta busca la identidad de una persona en la forma de su mirada (la cara, la retina o el iris) o de algunas de sus zonas (las huellas dactilares o la geometría de la mano). En esencia, un sistema biométrico es un sistema de reconocimiento de patrones, razón por la cual el estudio de las bases matemáticas sobre las cuales se sustenta esta ciencia se vuelve de vital importancia para los fabricantes de tecnología biométrica.

2.1.2. Componentes de los sistemas de reconocimiento de patrones

El esquema de un sistema basado en el reconocimiento de patrones consta de varias etapas relacionadas entre sí (los resultados de una etapa pueden modificar los parámetros de etapas anteriores). La figura 2.4 muestra un esquema general de un sistema de reconocimiento de patrones en el cual el sensor tiene como propósito proporcionar una representación factible de los elementos del universo a ser clasificados en lo que se conoce como la etapa de adquisición de datos. Es conveniente realizar una etapa de preprocesamiento sobre cada uno de ellos en lugar de ser dados como entrada del sistema tal y como fueron obtenidos durante dicha etapa. La principal ventaja de realizar un preprocesamiento sobre los datos es que puede reducir la dimensionalidad de los mismos, lo cual mejora substancialmente la ejecución del sistema, sobre todo cuando se utiliza una metodología como la de redes neuronales. La extracción de características es la etapa que se encarga, a partir del patrón de representación de los datos, de extraer la información discriminatoria eliminando la información redundante e irrelevante. Es uno de los principales problemas que se dan en el reconocimiento de patrones, el encontrar una manera óptima de representar la información original que describe a cada uno de los patrones. Este proceso trata de reducir la cantidad de datos (reducción de dimensionalidad) que representa cada uno de los patrones, obteniendo de esta forma un vector de características que represente de la mejor manera posible al patrón original. El clasificador es la etapa de toma de decisiones en el sistema. Su rol es asignar los patrones de clase desconocida a la categoría apropiada.

En el caso de reconocimiento de patrones en imágenes la primera de las etapas, la adquisición de datos, generalmente es llevada a cabo mediante un dispositivo de captura de imagen, que se encarga de transformar la información obtenida del mundo real en un vector numérico que contiene los valores muestreados y cuantificados y que posteriormente es preprocesado. La etapa de selección y extracción de características es de suma importancia en un sistema de reconocimiento de patrones. Requiere un profundo análisis de los patrones para determinar qué medidas son las

cruciales en la identificación de las diferentes categorías. Durante esta etapa se aborda la recolección de información relevante proveniente de los dispositivos sensores para el proceso de clasificación. En el reconocimiento de patrones en imágenes se intenta extraer la información importante de las mismas en función del tipo de imagen, obviando siempre la que pueda ser intrascendente como el ruido. El objetivo final de un sistema de reconocimiento de patrones es la asignación automática de una categoría (o clase) a cada uno de los patrones de entrada [5].

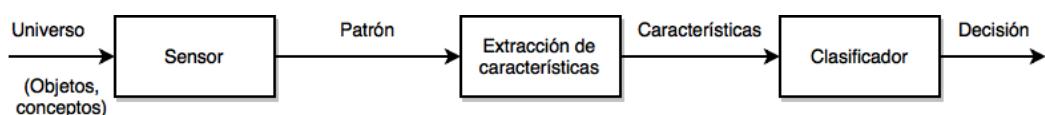


Figura 2.4: Esquema general de un sistema de reconocimiento de patrones.

El objetivo de estas etapas es ajustar el sistema para que sea capaz de clasificar señales u objetos de entrada en una de las clases predefinidas. Para ello deberá analizar un cierto número de características y para poder clasificar satisfactoriamente información de entrada es necesario un proceso de aprendizaje en el cual el sistema crea un modelo de cada una de las clases a partir de una secuencia de entrenamiento o conjunto de vectores de características de cada una de las clases. Generalmente se acepta que la secuencia de muestras de entrenamiento debe contener para cada una de las clases un mínimo de elementos igual a diez veces la dimensión de los vectores de características. El sistema de reconocimiento de patrones debe tener en cuenta las fuentes de variabilidad como son el ruido, rotaciones, cambio de escala y deformaciones, lo cual se logra incluyendo en la secuencia de entrenamiento patrones que hayan experimentado estas modificaciones. Este tipo de comportamiento se da en la etapa de clasificación, cuyo proceso de construcción suele denominarse como aprendizaje o entrenamiento, pudiendo ser este supervisado, en donde se realiza a partir de un conjunto de patrones del que no se conoce su clase; o no supervisado, los cuales requieren de la disposición de un conjunto de patrones denominado conjunto de entrenamiento, de los cuales se conoce su clase [5].

2.2. Biometría

El concepto de biometría proviene de las palabras bio (vida) y metría (medida), refiriéndose por tanto a todo equipo biométrico que mide e identifica alguna característica propia de la persona. Se puede definir como una tecnología de seguridad basada en el reconocimiento de una característica física e intransferible de las personas, como por ejemplo la huella digital. Todos los seres humanos contienen características morfológicas únicas que los diferencian. La forma de la cara, la geometría de partes de nuestro cuerpo como las manos, nuestros ojos y tal vez la más conocida, la huella digital, son algunos rasgos que nos diferencian del resto de seres humanos.

La medición biométrica se ha venido estudiando desde hace mucho tiempo y es considerada en la actualidad como el método ideal y más fiable para la identificación humana. A través de la biometría se pueden medir y extraer las características anatómicas de una persona para obtener información y generar su patrón para poder emplearlo en su identificación.

2.2.1. Sistemas biométricos

El gran avance que se ha producido en el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación ha echo que sistemas tradicionales de reconocimiento como lectores de tarjetas, número secreto, etc. hayan adoptado esta evolución para dar paso a los sistemas biométricos. La autenticación mediante verificación biométrica está convirtiéndose en algo cada vez más habitual en los sistemas de seguridad, tanto privados como públicos, en la electrónica de consumo y en las aplicaciones de punto de venta (POS). Además de la seguridad, otro de los factores que está impulsando la verificación biométrica es la comodidad.

Un sistema biométrico se basa en las características que aporta la anatomía del ser humano, fundamentando sus decisiones de reconocimiento mediante los patrones que estas forman. Estos patrones son características morfológicas únicas y de

comportamiento que todos los seres humanos tenemos y que nos diferencian de los demás. Propiedades como la forma de la cara, la geometría de partes de nuestro cuerpo como las manos nuestros ojos y la huella digital, son algunos rasgos que nos diferencian del resto de seres humanos.

Los sistemas biométricos pueden ser clasificados de diferentes maneras. Dependiendo del tipo de característica que se utilice para llevar a cabo de la identificación biométrica los podemos clasificar en dos grandes tipos; la biometría estática y la biometría dinámica.

La biometría estática engloba todas las características físicas que posee la persona como la huella dactilar, el iris del ojo, la palma de la mano, la cara, la oreja, etc. mientras que la biometría dinámica se basa en las características de comportamiento como la escritura, la firma, etc. Otra clasificación de los sistemas biométricos la podemos basar en el tipo de tecnología biométrica sobre la que se basan, donde podemos encontrar el reconocimiento de huella dactilar, reconocimiento de iris, reconocimiento de la geometría de la mano, reconocimiento de firma escrita y reconocimiento de voz.

Por la cuota de mercado que tienen estas tecnologías biométricas podemos clasificarlas según la información proporcionada por el International Biometric Group en el estudio realizado en enero de 2016 donde muestra la proporción del consumo de los diferentes tipos de sistemas biométricos.

En la figura anterior podemos ver como el reconocimiento por huella dactilar es el sistema biométrico más utilizado en el mercado por las aplicaciones de seguridad, teniendo el resto de tecnologías biométricas un alcance similar en cuanto al consumo. Esto no hace más que representar el desafío que supone el analizar e investigar un sistema biométrico que no esta tan asentado en el mercado como es el basado en el iris, y que puede conllevar a obtener nuevos hallazgos y soluciones que mejoren las capacidades de lo ya existente.

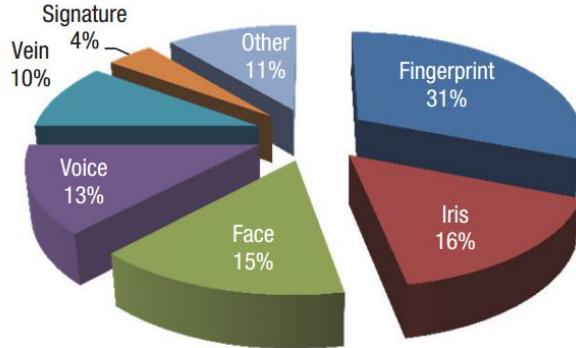


Figura 2.5: Cuota de mercado de las modalidades de sistemas biométricos.

2.2.2. Anatomía del iris

El ojo es el órgano de la visión. Los ojos pueden distinguir variaciones muy pequeñas de forma, color, luminosidad y distancia. En realidad, el órgano que efectúa el proceso de la visión es el cerebro; la función del ojo es traducir las vibraciones electromagnéticas de la luz en un determinado tipo de impulsos nerviosos que se transmiten al cerebro.

El ojo en su conjunto, llamado globo ocular, tiene un diámetro aproximado de 2,5cm con un marcado abombamiento sobre su superficie delantera. Entre la pared del globo ocular y el hueso orbitario existe un tejido conjuntivo que une ambas estructuras. A dicha zona de unión se le conoce como cápsula de Tenon.

El ojo se compone de una serie de estructuras entre la que destacamos el iris, una membrana coloreada y de forma circular. Su coloración representa lo que conocemos habitualmente como “color de los ojos” y su apertura central es la pupila. Esta membrana presenta un músculo de disposición circular que permite modificar el tamaño de la pupila.

El iris forma parte de la capa media o úvea. Es un disco pigmentado que se

encuentra a continuación del cuerpo ciliar, suspendido entre la córnea y el cristalino. Posee un orificio central conocido como pupila por donde pasan los rayos lumínicos tras haber atravesado la córnea y el humor acuoso. A través de la pupila los rayos llegan a la lente del cristalino, seguidamente al cuerpo vítreo y finalmente a las células receptoras de la retina para la formación de la imagen. El tamaño de la pupila depende de dos músculos que rodean sus bordes y controlan la cantidad de luz que entra en el ojo. Las fibras musculares del iris se agrupan formando dos músculos obiculares: el Esfínter del iris que produce la Miosis, y el dilatador de la pupila que produce la Midriasis. Si los músculos orbiculares del iris se contraen, la pupila se encoge y entra menos luz en el ojo (Miosis). Si los músculos orbiculares se relajan, la pupila vuelve a dilatarse, dejando pasar más luz a la retina (Midriasis). La contracción pupilar se debe a la acción de los esfínteres del iris y su objetivo es dar una imagen nítida, evitando para ello el paso de rayos por la periferia de la lente. El componente principal del iris es un tejido conjuntivo rico en células pigmentadas llamadas melanóforos.

Se encuentra situado entre la cámara anterior y posterior de un líquido gelatinoso llamado humor acuoso. La cámara anterior esta delimitada por la cara posterior de la córnea y la cara anterior del iris, mientras que la cámara posterior lo está por la cara posterior del iris y la cara anterior del cristalino. Posterior al cristalino se encuentra el humor vítreo que da volumen al globo ocular.

El iris es una zona delicada del ojo y que está expuesta a sufrir posibles daños y enfermedades. Los traumatismos son la causa mas frecuente de cataratas unilaterales en individuos jóvenes. Una herida contusa por la cual una contusión puede dar lugar a una “impronta” del pigmento del iris sobre la cápsula anterior del cristalino, así como opacidades corticales con forma de flor. La mayor temperatura del iris respecto a la de la córnea puede formar corrientes en termoconvección en el humor acuoso que ascienden y descienden cerca del iris y endotelio respectivamente. Son típicos en la mitad inferior de la córnea formando un triángulo con base inferior. El crecimiento o protuberancia en la superficie anterior del iris, que no son sino cúmulos inflamatorios en el parénquima iridiano, puede dar lugar a la enfermedad

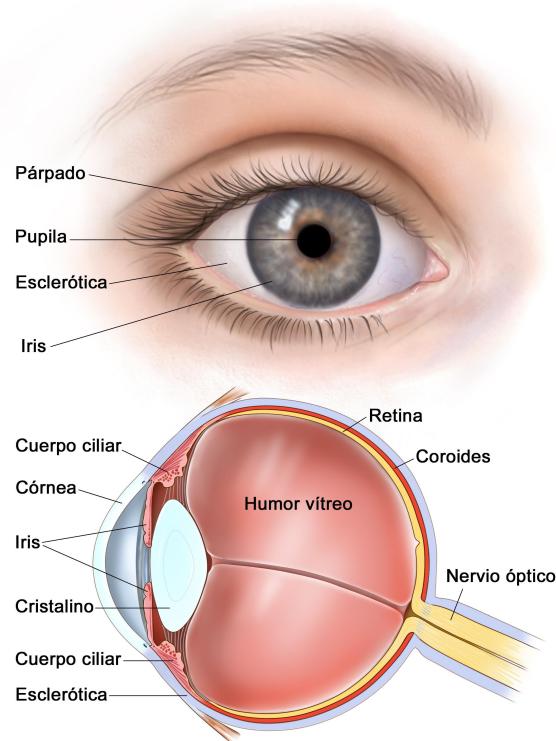


Figura 2.6: Anatomía del iris.

denominada Nódulos de Bussaca.

El color del iris está determinado por el número y distribución de unas células que contienen el pigmento Melanina y se llaman Melanocitos. Si la melanina se encuentra solamente en la zona de epitelio pigmentario de la superficie posterior del iris, el ojo es azulado. En cambio si esta se distribuye por todo el espesor del iris, el ojo es de color marrón.

2.3. Reconocimiento de iris

A pesar de no ser el tipo de reconocimiento que mayor uso tiene en el mercado, este tipo de reconocimiento presenta una gran popularidad debido a las propiedades que posee como son principalmente los muchos grados de libertad con los que es dotada su textura, y el permanecer invariable en el tiempo a pesar del envejecimiento natural de la persona. Todo esto convierte al iris en una de las mas importantes

características de la fisiología humana que da lugar a un sistema de reconocimiento biométrico robusto, fiable u seguro.

El proceso de reconocimiento de iris se compone de cuatro etapas principales: la adquisición de imagen, el pre-procesamiento, la extracción de características y la comparación de las mismas. Estas cuatro fases constituyen una arquitectura de flujo de trabajo pipeline, donde el resultado de la salida de un etapa es la entrada en la inmediatamente posterior.

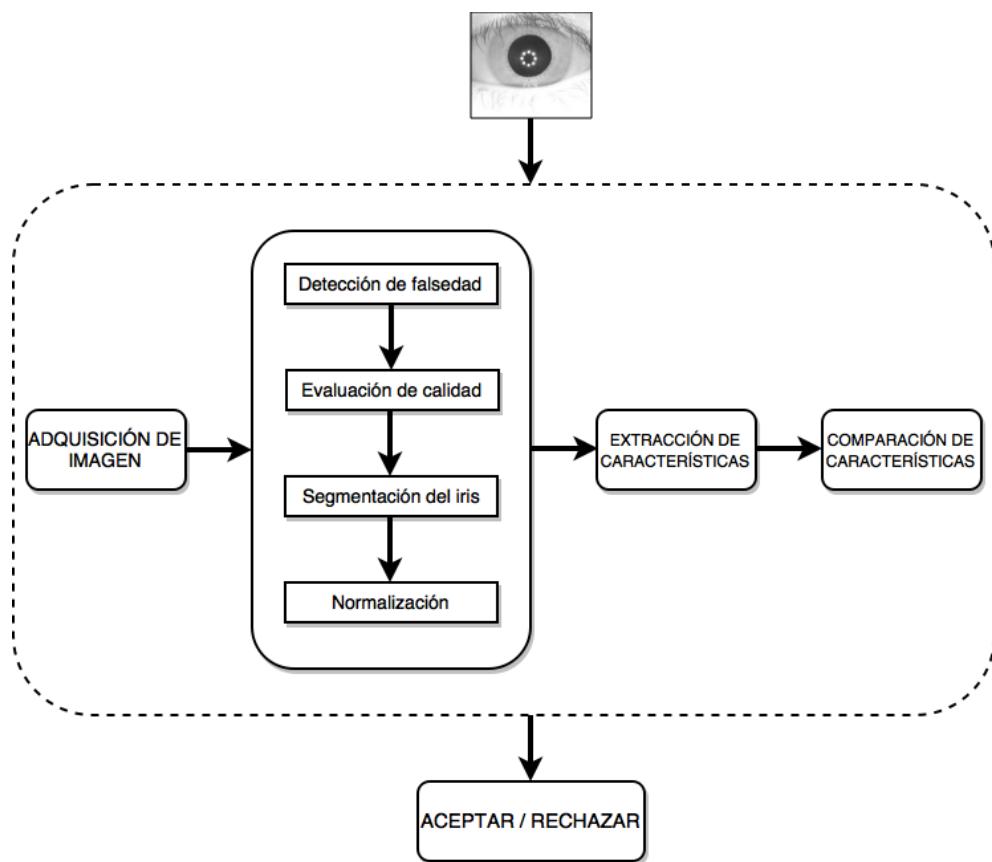


Figura 2.7: Diagrama de flujo de un sistema de reconocimiento de iris.

2.3.1. Etapas del reconocimiento de iris

Un sistema de reconocimiento basado en el iris se compone de cuatro etapas: adquisición de imagen, pre-procesamiento, extracción de características y comparación de características. En la figura 2.7 podemos ver el digrama del flujo de ejecución de un sistema de reconocimiento de iris convencional, los cuales comienzan con la

adquisición de la imagen del iris y terminan aceptando o rechazando la identidad reclamada.

La primera etapa de adquisición de imagen es la encargada de capturar una secuencia de imágenes de iris. Estas capturas se realizan con cámaras especiales que suelen operar en el espectro visible (380-750 mm) o en el espectro infrarrojo (700-900 mm). En este ámbito, los sistemas de adquisición en el espectro infrarrojo son los más utilizados debido a las ventajas que proporciona. Dicho proceso de adquisición consiste en 2 operaciones: muestreo y cuantización. El muestreo está relacionado con la creación de la imagen digital, que tiene una resolución espacial predefinida con un número de píxeles por pulgada en función de la escena donde se realice. A través de la operación de cuantización, la señal de entrada es discretizada para obtener los posibles valores de intensidades de los píxeles que conforman la imagen.

La etapa de pre-procesamiento es la segunda y como se ha podido ver en la figura 2.7 se compone a su vez de 4 sub-etapas: detección de falsedad, evaluación de calidad de la imagen, segmentación del iris y normalización de la región del iris. La detección de falsedad es empleada para diferenciar entre un reclamo de identidad real y un falso reclamo con una imagen impresa de un iris, una grabación de secuencia de vídeo de un iris, ojos artificiales, lentes de contacto impresos con patrones de iris por ejemplo. Para detectar esa falsedad de identidad se emplean técnicas de medición de indicadores de espécimen vivo. La sub-etapa de evaluación de calidad dentro de la etapa del pre-procesamiento involucra varios factores de calidad como son: emborronado por desenfoque, emborronado por movimiento, dilatación de la pupila, área útil del iris, reflexiones especulares, variaciones de iluminación, oclusión por pestañas y párpados. Una pronta detección y corrección de estos factores de calidad ayudará a que el proceso de reconocimiento del iris sea mas robusto, aunque existen muchos sistemas de reconocimiento de iris que imponen una serie de restricciones en la etapa de adquisición de la imagen del iris teniendo como objetivo el reducir dichos factores de calidad.

La segmentación del iris se compone también de una serie de pasos: encontrar un iris en la imagen, demarcar sus bordes interno y externo entre la pupila y la esclerótica respectivamente, detección de los bordes de los párpados superior e inferior si estos ocultan el iris, y detectar y excluir cualquier objeto superpuesto de pestañas o reflexiones de la córnea o gafas. Existen diferentes métodos propuestos de segmentación de iris como: método basado en el operador integro-diferencial, método basado en la transformada de Hough, método basado en el análisis de contornos activos, método basado en la teoría de juegos, etc. Con el paso de la normalización de lo que se trata es de solucionar los problemas relacionados con las dimensiones de la imagen del iris. La dimensión de la imagen del iris puede variar de un individuo a otro o en el mismo individuo debido a la variación de la pupila, la variación de la distancia entre el individuo y la cámara, el movimiento del ojo, la inclinación de la cabeza, etc. Con el proceso de normalización lo que se hace es transformar la región segmentada del iris en un sistema de coordenadas pseudo-polar de 2 dimensiones mediante un muestreo de los datos originales en un tamaño predefinido. Aunque en algunos modelos del desarrollo de extracción de características no se realiza este proceso para ahorrar en coste computacional, el modelo rubber sheet.^{es} el método mas usado para la normalización [6].

En la siguiente etapa se extraen las características mas significativas y relevantes de la textura de la imagen del iris. Este proceso se ha desarrollado utilizando diversos algoritmos de codificación entre los que se pueden destacar: banco de filtros espaciales, transformada de Gabor wavelets en 2 dimensiones, transformada discreta de los cosenos, transformada discreta de Fourier en 2 dimensiones, características ordinales, descriptores SIFT alrededor de un punto de interés, etc. El éxito de las estapas de segmentación y extracción de características se encuentra estrechamente ligado a los factores de calidad de la imagen del iris, por lo que como se ha mencionado anteriormente, una buena etapa de pre-procesamiento puede evitar que se dé el caso en el que usuarios auténticos con imágenes capturadas con mala calidad puedan ser injustamente rechazados ya que difieren de sus plantillas biométricas registradas.

Por último, en la etapa de comparación de característica se confirma si la imagen de la textura del iris de un individuo dado se corresponde a algunas de las identidades registradas por el sistema. Esta operación de similitud se desarrolla utilizando diferentes medidas de similitud propuestas en función de la magnitud de las características extraídas. Mediante estas medidas de magnitud se puede decidir si la identidad reclamada es aceptada o rechazada. Entre las medidas más utilizadas en la comparación de características de la textura del iris se pueden destacar: distancia euclíadiana, distancia de Hamming o la función BLPOC [6].

2.4. Reconocimiento de iris en condiciones no ideales

La mayor parte de los trabajos realizados sobre el reconocimiento del iris alcanzan muy buenos resultados que se convierten en casi inalcanzables en ambientes deseados. Como se ha mencionado anteriormente, en la actualidad son muchas las investigaciones que se centran en el desarrollo de métodos robustos capaces de realizar un reconocimiento del iris en ambientes no deseados o condiciones no ideales. La tendencia de esta modalidad de reconocimiento biométrico viene promovida por la necesidad de algunas aplicaciones reales para obtener una mayor flexibilidad frente a situaciones como: seguimiento de personas, reconocimiento de personas en multitudes, control de acceso, etc, donde la aparición de factores de calidad como iluminación, escala, oclusión y/o perspectiva convierten el entorno del reconocimiento en no deseado, teniéndose este que realizar en condiciones no ideales. A pesar del gran avance de los desarrollos producido en este campo, existen actualmente grandes retos en cuanto al reconocimiento de iris en condiciones no ideales [6].

El reconocimiento del iris en condiciones no ideales se caracteriza por manifestarse en situaciones donde el individuo se encuentra en constante movimiento o en escenarios con presencia de objetos y/u otros individuos, lo que provoca que se realicen capturas de imágenes del iris afectadas por factores de calidad. Se suelen dar una serie de factores de calidad comunes a las imágenes capturadas este tipo de situaciones como son la iluminación variable, el emborronado, la oclusión, la reflexión

especular, el tamaño del área del iris y la perspectiva.

La existencia de estos factores de calidad en las imágenes del iris pueden producir que la medida de éxito de los sistemas de reconocimiento se vea afectada negativamente. Por este motivo suelen aparecer una serie decisiones que se pueden tomar para intentar mitigar este problema como son el descartar las imágenes que no superen un umbral de índice de calidad establecido, el aplicar técnicas para mejorar la calidad de las imágenes, el desarrollar técnicas mas robustas de reconocimiento de iris en imágenes de mala calidad y el obtener combinaciones de estas técnicas [6].



Figura 2.8: Imágenes de iris afectadas por factores de calidad.

2.4.1. Factores de calidad

En esta sección describiremos los factores de calidad más comunes que suelen aparecer en las imágenes de textura del iris cuando estas se realizan en movimiento o con la presencia de objetos y/o personas.

La iluminación variable es un problema que está estrechamente ligado a la localización de la fuente de luz con respecto al dispositivo de captura y el individuo que

se quiere reconocer. Estas variaciones de iluminación están siempre relacionadas al movimiento de la persona con respecto a las fuentes de luz. Debido a esto, la intensidad y la dirección de las fuentes de iluminación pueden afectar la apariencia de imágenes del iris e indicar en las medidas de éxito de los sistemas de reconocimiento de iris. Algunos sistemas de reconocimiento emplean el uso de filtros ópticos para reducir el efecto de la luz variable, ya que estos bloquean con luz estroboscópica una gran porción de luz ambiental. La aplicación de técnicas de ecualización de histogramas y de estandarización es otro método utilizado para disminuir el efecto contraproducente de la variabilidad luminosa.

Como hemos visto en la sección **Anatomía del iris**, este se representa como un anillo que tiene el borde inferior situado sobre la pupila y el borde exterior sobre la esclerótica, siendo su función principal la de controlar el tamaño de la pupila en función de la cantidad de luz que entra en el ojo a través de esta. Esa cantidad de luz puede dar lugar a que se den dos fenómenos en la pupila; la "Miosis" debido a que la pupila se contrae por el exceso de cantidad de luz y la "Midriasis" que se dilata por el efecto contrario, es decir, poca cantidad de luz. La variabilidad de tamaño de la pupila hace el tamaño de la región del iris pueda variar.

En situaciones en las que se capture la imagen del iris con mucha cantidad de luz provocará que la pupila esté dilatada, dando lugar a que no se obtenga la información necesaria para realizar el proceso de reconocimiento. Esto es debido a que la dilatación de la pupila produce una deformación y pérdida de información relevante del patrón estructural del iris [6].

El problema que produce el efecto de emborronado sobre las imágenes es causado principalmente por 2 motivos como son los movimientos significativos del individuo respecto al dispositivo de captura o del dispositivo de captura respecto al individuo en el momento de la adquisición de la imagen y que el punto focal del objeto a capturar esté fuera de la profundidad del campo del dispositivo de captura de la imagen. Para paliar este problema se han desarrollado soluciones basadas en enfoques de estabilización opto mecánica que va incorporada en el ensamblado de

las lentes de las cámaras utilizando un software conectado con un control electrónico de imagen. Estas soluciones implican la incorporación de dispositivos costosos y voluminosos que no serían viables para ser utilizados en aplicaciones móviles. En este sentido, se han propuesto varios métodos que permiten entre otras cosas determinar el nivel de afectación de emborronado en las imágenes, así como medir el foco de una imagen por el análisis de la nitidez del límite entre el iris y la pupila.

Otro de los factores de calidad que se puede dar en las imágenes de captura de iris es el referente a la oclusión ocasionada por los párpados y pestañas, las cuales pueden ser parciales o totales. En este caso, en las oclusiones parciales se puede comprobar como la oclusión al iris se produce mayormente por el párpado y las pestañas superiores. Esta situación es muy común en los seres humanos, ya que con el paso de los años el párpado tiende a caerse y con ello a obstruir el ojo. Por otro lado, las oclusiones totales se deben en parte a algún tipo de enfermedad padecida por el individuo o alguna fuerte reacción a cambios en el ambiente. El efecto de oclusión provoca que se capturen imágenes que proporcionen poca o ninguna información de los patrones estructurales del iris, afectando con ello a la medida de éxito de los sistemas de reconocimiento de iris [6].

Al igual que con los anteriores factores de calidad, son varias las soluciones desarrolladas para la detección de párpados y pestañas entre los que se encuentran el método de detección de párpados y pestañas basado en la transformada de Hough [15] o el método de detección de párpados basado en características de las frecuencias de las pestañas [13] entre otros.

La reflexión especular es un factor de calidad que viene asociado a los mecanismos de iluminación que traen incorporados los dispositivos de captura de imagen del iris para iluminar el ambiente en el que se encuentra el individuo que vaya a ser reconocido para poder capturar imágenes de iris con mayor calidad y grado de detalle posible. Este medio propicia que se produzcan reflexiones de luz sobre la córnea del ojo del individuo. Estas reflexiones especulares pueden ser definidas como manchas blancas que ocultan y esconden información del iris y la pupila. Esta

oclusión de información por parte las reflexiones especulares sobre el iris puede provocar que se altere el patrón estructural de este, llegando en ocasiones a no poder localizarlo. Esto puede ocasionar que un individuo sea rechazado por el sistema de reconocimiento aún estando registrado por dicho sistema [6].

Existen varias soluciones para evitar que aparezcan reflexiones especulares en las imágenes del iris, siendo una de ellas la de controlar la iluminación ambiental con iluminación NIR. Aunque otros trabajos desarrollados proponen otro tipo de soluciones basados en un sistema con una fuente de luz menos invasiva diseñado para eliminar reflexiones especulares [16].

El factor de la perspectiva se encuentra relacionado con la desviación de la mirada del individuo a reconocer respecto a la vista frontal ideal desde el dispositivo de captura. Este factor tiene una enorme influencia sobre la medida de éxito de los sistemas de reconocimiento de iris, ya que las imágenes de iris con desviaciones respecto a la vista frontal ideal tienen la característica de que el iris capturado posee una forma elíptica. Esto hace que el patrón estructural del iris tienda a deformarse significativamente, lo que produce que la información capturada del mismo no coincida con el modelo estructural de un iris normal [6].

Existen varios trabajos desarrollados para procesar este tipo de imágenes como el propuesto por J. Zhu y J. Yang [20] basado en la estimación de la dirección de la mirada sobre el análisis de secuencias de vídeo, y también Dorairaj et al. en [18] estiman el ángulo de desviación de la mirada respecto a la vista frontal ideal optimizando una función objetivo basada en la distancia de Hamming [11].

Capítulo 3

Tecnologías y herramientas en el reconocimiento de iris

3.1. Introducción

Conocido ya el funcionamiento de los sistemas de reconocimiento de personas a través del iris en condiciones no ideales mediante su base teórica y etapas así como los factores de calidad que nos podemos encontrar en este tipo de ambiente, en este capítulo vamos a estudiar las herramientas y tecnologías existentes en las que nos apoyaremos para desarrollar un nuevo método de extracción de características que sea integrado en un sistema de reconocimiento de esta modalidad con el objetivo de comparar sus resultados con los arrojados por el mismo sistema usando diferentes métodos de extracción de características.

Como bien hemos podido ver en el anterior capítulo, un sistema de reconocimiento biométrico se compone de 4 elementos principales: la adquisición de imágenes, el pre-procesamiento, la extracción de características y la comparación de características. Aunque el propósito de este Trabajo Fin de Master es el de diseñar e implementar un nuevo método de extracción de características, también será necesario desarrollar el resto de componentes que forman un sistema de reconocimiento biométrico, haciendo uso para ello de las herramientas que se describen en este apartado.

Para el desarrollo de la etapa de adquisición de imágenes haremos uso de la base de datos **CASIA V4**, la cual contiene un conjunto de imágenes tomadas a individuos

de los ojos izquierdo y derecho afectadas por diferentes factores de calidad. El resto de las etapas se fundamentarán en la librería **USITv1.0.3**, la cual se basa en **OpenCV** y **Boost**. Mediante esta librería se desarrollarán las etapas de pre-procesamiento y comparación de características. De la misma, se hará uso de los diferentes métodos de extracción de características que expone y que serán los que se comparen con el método propuesto en este Trabajo Fin de Master.

El desarrollo del método de extracción de características sobre el que se basa esta memoria se apoyará en las librerías **OpenCV-3.2.0** y **Boost-1.63.0** en sus respectivas versiones.

3.2. OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) es una librería de código abierto lanzada bajo licencia BSD y de uso libre académico y comercial. Esta implementada para C++, C, Python y Java, además de tener soporte para múltiples plataformas como Windows, Linux, Mac OS, iOS y Android. Está diseñada para aplicaciones en tiempo real así como para proporcionar un entorno de desarrollo fácil de utilizar y altamente eficiente.

Fue desarrollada inicialmente por Intel para el uso en visión artificial, apareciendo su primera versión en 1999. Se centra en funcionalidades que abarcan una gran gama de áreas en el proceso de visión como reconocimiento de objetos, calibración de cámaras, visión estérea y visión robótica. Su alta influencia en el campo de la visión por computador ha echo que sea base fundamental en el tratamiento digital de imágenes.

La versión 3.2.0 es la última versión que dispone esta librería, y sobre la que se basará el nuevo método de extracción de características. También forma parte del núcleo de la librería **USIT** [3].

3.3. Boost

Boost es un conjunto de librerías multiplataforma de software libre diseñada para extender las capacidades del lenguaje de programación C++. Al igual que la librería **OpenCV** su licencia es de tipo BSD, lo que permite que pueda ser utilizada en cualquier tipo de proyecto sean comerciales o no.

El uso de esta librería en su versión 1.63.0 será necesario para el desarrollo del nuevo método de extracción de características en conjunto con la librería **OpenCV**, que al igual que esta forma también parte del núcleo de la librería **USIT** [2].

3.4. USIT

USIT (University of Salzburg Iris Toolkit v2) es un paquete software desarrollado por la Universidad de Salzburgo empleado en el reconocimiento del iris y lanzado para plataformas Windows y Linux. Este paquete software incluye algoritmos para realizar tareas de pre-procesamiento de iris, extracción de características y comparación de caracaterísticas. USIT está basado en una fácil y simple herramienta manejada por línea de comandos [9] [8].

Se utilizarán los métodos y algoritmos que este software ofrece en su versión v1.0.3 para desarrollar las etapas de pre-procesamiento y comparación del sistema de reconocimiento, así como también se utilizarán los métodos de extracción de características mediante los cuales se podrá medir el nivel de eficiencia y fiabilidad del método propuesto.

Como se vió en el capítulo anterior, la etapa de pre-procesamiento en el reconocimiento del iris en condiciones no ideales se compone a su vez de otra serie de tareas como son la detección de falsedad para evitar falsos reclamos como una imagen impresa del iris o una grabación del mismo, a través de técnicas de medición de indicadores de espécimen vivo. La evaluación de calidad para la detección y corrección de factores como el emborronado por desenfoque y la dilatación de pupila es otra de las tareas dentro de la etapa del preprocesamiento, así como la segmentación

del iris una vez localizado. Es en esta última fase donde la librería USIT aporta dos algoritmos, “caht” y “wahet”. Estos algoritmos usan modelos geométricos a través de círculos y elipses para representar las partes del limbus (anillo limbal) y la pupila del ojo humano.

El algoritmo **Caht** emplea un modelo circular para el limbus y la pupila, que son los límites externos e internos del iris. Esta basado en los métodos de la transformada circular de Hough y la mejora de contraste. La transformada de Hough es una técnica utilizada para la detección de figuras en imágenes digitales que realiza un proceso mediante el cual se divide la imagen en regiones y objetos cuyos píxeles poseen atributos similares. Principalmente es una técnica para detectar líneas rectas en imágenes, aunque también sirve para la detección de curvas, siendo muy robusta frente al ruido y la existencia de huecos en la frontera. Aprovechando las cualidades de dicha técnica, este algoritmo aplica una transformada circular para la detección de los bordes internos y externos del iris [9].

Wahet propone un algoritmo basado en dos etapas para la localización y mapeo de la textura del iris dentro de las coordenadas polares de Daugman. En esta solución la detección del centro y la localización del límite del iris se desacoplan al contrario de lo que sucedía en los algoritmos con un enfoque mas tradicional, siendo por tanto el espacio de búsqueda para cada estado reducido. Este algoritmo utiliza un modelo elíptico a diferencia del modelo circular del algoritmo anterior, pero si comparte el uso de la transformada de Hough aunque emplea una adaptación multiescala de la misma para estimar la posición aproximada del centro del iris y una transformada elipsopolar de Hough para encontrar el segundo límite basado en la salida del primero [9].

Ambos algoritmos de segmentación dan como resultado una matriz de valores de intensidades de gris cada uno con la misma dimensión por cada imagen, es en esta estructura donde se almacena la textura del iris localizado. Cabe recordar que el iris segmentado presenta afecciones producidas por factores de calidad como la oclusión de pestañas y párpados.

Del mismo modo, el paquete USIT proporciona una serie de métodos para realizar la etapa de comparación de características una vez estas han sido extraídas. Existen dos tipos de comparadores, entre los que están los basados en los algoritmos de extracción de características, es decir, esos comparadores de características sólo son utilizados para los datos que ha sido obtenidos a través de su respectivo método de extracción de características. En este sentido, la librería USIT proporciona los métodos comparadores *koc* para el algoritmo de extracción de características *Ko*, *cbc* para el método *cb*, *dctc* para el método *dct*, *lbp* para el método *lbpc*, *siftc* para el método *sift* y *surf*c para el método *surf*. El otro tipo de comparador que ofrece USIT es en un ámbito más general y está basado en la distancia de Hamming, este método es aplicado al resto de los métodos de extracción de características.

La extracción de características es la etapa que más interés despierta y la que mayor tiempo de investigación ha necesitado en el reconocimiento del iris. Actualmente existen múltiples algoritmos y métodos para extraer las características principales de una imagen, siendo hoy día un campo en el que se continúa investigando para conseguir mejorar en lo ya existente y ajustar aun mas la selección de dichas características. Esta etapa permite un amplio abanico de soluciones y propuestas como se puede observar en las que ofrece la librería USIT, siendo la fase de la misma la que más algoritmos propone como posibles soluciones.

Cada uno de los algoritmos presentados en la etapa de extracción de características por la librería USIT expone sus propias técnicas y métodos basados en mejoras de soluciones ya existentes algunos y en novedosas técnicas aplicadas a las matemáticas otros. Todos comparten en común el uso de las librerías OpenCV y Boost para su implementación. A continuación se hará un pequeña descripción del funcionamiento y finalidad de cada uno de los algoritmos [9] [8].

El algoritmo Log Gabor trata la imagen como si fuese una señal a la que le analiza la frecuencia como hacen la mayoría de los filtros, pero en este caso los filtros Gabor permiten analizar simultáneamente las características de espacio y frecuencia,

lo que significa que es posible determinar en qué parte de la imagen se produce una determinada frecuencia. De este modo la frecuencia está localizada [9] [8].

Al tratar las imágenes como una señal, se suele trabajar en el dominio de la frecuencia mediante la transformada de Fourier. En definitiva, los filtros de Gabor conforman un banco de filtros capaces de extraer información sobre las texturas de una imagen aprovechando la información sobre la distribución espacio-local de color o nivel de intensidades que esta provee.

De este modo los filtros aplicados a las texturas se pueden utilizar para realizar operaciones como la de realizar las variaciones de intensidad allí donde se producen y así poder detectar las características principales de la imagen. También se puede utilizar para suavizar la imagen reduciendo las variaciones de intensidad entre píxeles vecinos, eliminar ruido modificando aquellos píxeles cuyo nivel de intensidad sea muy diferente al de sus vecinos y detectar bordes en aquellos píxeles donde se produce un cambio brusco en la función intensidad.

Los filtros que se utilizan en este algoritmo son máscaras (matriz de coeficientes) que se aplican a la textura de la imagen para obtener el efecto deseado. El tipo de filtrado vendrá determinado por el tipo de la máscara.

Otro de los métodos que contiene la librería USIT es el implementado por el algoritmo QSW (Quadratic Spline Wavelet), el cual se basa en la idea básica de que la fuerte variación en puntos locales de la textura en la imagen del iris denotan la aparición o desaparición de una estructura de imagen importante, y por tanto son utilizados para representar las características principales del iris [9] [8].

El procedimiento de extracción de características de este algoritmo incluye dos pasos; uno primero en el que se construye un conjunto de intensidades de una dimensión para caracterizar la información más importante de la imagen original del iris en dos dimensiones, y un segundo paso en el que usando una clase wavelet, una secuencia de posiciones de puntos locales con fuertes variaciones en dichas señales

de intensidades se registra como característica. Al igual que el algoritmo Log Gabor, se realiza una descomposición de la textura a señal de una dimensión, por la que la textura del iris es normalizada.

El siguiente algoritmo de la librería USIT corresponde al algoritmo KO. La tarea de extracción de características en este algoritmo se realiza aplicando un análisis de cambios basado en la suma acumulativa. Este método sugiere descartar partes de la textura del iris en forma de grados, de 45° a 315° para el lado derecho de la textura y de 135° a 225° del lado izquierdo [9] [8].

El proceso que sigue este algoritmo para la extracción de características de la textura de un iris es el siguiente; una vez obtenida dicha textura se divide en regiones básicas de tamaño 8×3 pixeles, es decir, cada región se compondrá de 24 pixeles o celdas. Para cada una de esas regiones se calcula el valor medio de intensidades de escala de grises. Dichas regiones son agrupadas horizontal y verticalmente, siendo recomendable que los grupos estén compuestos por cinco regiones. Finalmente se calcula la suma acumulativa sobre cada grupo para generar un código del iris. Si las sumas acumulativas están en un pendiente creciente se codificará con un 1, si en caso contrario la pendiente es decreciente se codificará con un 2, para cualquier otro caso se asignará un 0 al código.

Con el fin de obtener un vector binario de características de la textura del iris, el código resultante del iris se reorganizará de tal modo que la primera mitad contenga todas las pendientes ascendentes y la segunda mitad todas las pendientes descendentes.

La mayoría de los algoritmos que propone esta librería se fundamentan en las teorías que Rathbeg empleó en la investigación y desarrollo de su tesis doctoral sobre la biometría a través del reconocimiento del iris. De echo, uno de los algoritmos que compone la librería USIT (el algoritmo CR) esta basado en el algoritmo estándar de Rathbeg, cuya base se encuentra en reducir el número de bits a comparar del código binario que representa la textura del iris. Trata de minimizar la información

sobre un 5% combinándola en los primeros bits, es decir, en los primeros bits del código del iris es donde se concentra la combinación de los mismos. De esta forma se consigue descartar de forma rápida y temprana los códigos que sean improbables de emparejar, evitando así el tener que comparar todos los bits de cada código del iris, lo que produciría un aumento en tiempo de cómputo incremental [9] [8].

El algoritmo basado en el contexto (CB) es también empleado en como método en la librería USIT. Este algoritmo lo que hace es ir examinando la textura del iris en bloques de X x Y píxeles, donde el valor de cada uno de los píxeles de esos bloques es discretizado mapeando los valores de escala de grises de todos los píxeles incluidos (P_i) a un número natural inferior a un parámetro k predefinido, donde n es el número de posibles valores de escala de grises que se puede tomar. Una vez que todos los píxeles de la textura del iris son discretizados se calcula el valor medio de los píxeles contenidos en cada bloque, asignándole dicho valor al bloque como código del mismo. Finalmente, se genera un código de iris de dos dimensiones con respecto al número de filas obtenidas y concatenando los códigos resultado de todos los bloques de pixeles X x Y discretizados ($P_i / n/k$) [9] [8].

Otro de los algoritmos que compone esta librería es el basado en la transformada discreta del coseno. El algoritmo DCT (discrete cosine transform) es una variación de la transformada discreta de Fourier donde la imagen se descompone en suma de de cosenos. Este tipo de algoritmo es usado para la comprensión y reducción de datos, aunque el ámbito que se le da en la librería USIT es para la extracción de diferentes características de una imagen. Lo que hace el algoritmo DCT es comprimir toda la información de la imagen concentrándola en unos pocos coeficientes que se localizan en la esquina superior izquierda de la matriz de valores reales resultantes. La imagen que resulta de esta operación mostrará bajos valores o cero en los píxeles, exceptuando la esquina superior izquierda de la misma, donde las intensidades son mas altas. Estos coeficientes de baja frecuencia y alta intensidad que se sitúan en la esquina superior izquierda son los que llevan la mayoría de la información de la imagen original. Una vez que el algoritmo ha realizado el proceso de comprensión

de la imagen y situando los coeficientes mas relevantes de la imagen, se suelen emplear dos métodos para la extracción de características en base a esos coeficientes obtenidos [9] [8].

El primero de ellos emplea una técnica basada en ventanas cuadradas para extraer los coeficientes con menor frecuencia de la matriz resultante $L \times L = L^2$. Este método hace uso de que DCT pone la mayoría de la información de la señal en el componente dc y los componentes de menor frecuencia. Se van creando ventanas cuadradas desde el origen (0,0) de la matriz y se van obteniendo los coeficientes de dichas submatrices en orden descendente. El segundo método es una alternativa zig-zag donde los coeficientes se seleccionan dependiendo de su magnitud.

El último de los algoritmos de la etapa de extracción de características que provee la librería USIT fusiona las modalidades biométricas de iris y cara. El algoritmo GFCF (Gaussian Face and Face-part Classifier Fusion) se basa en el reconocimiento del iris con una separación previa en conjuntos de buena calidad, por lo que debe realizar previamente una detección robusta y eficiente de los ojos en la cara. Este algoritmo combina múltiples y diferentes propuestas de detección de objetos para resolver la detección de caras en ambientes heterogéneos y la localización del ojo antes de la segmentación. Fusiona detectores de objetos arbitrariamente que realizan la tarea de extracción de características calculando propiedades de regiones de la imagen, seleccionando características discriminatorias que se evalúan con respecto al objeto a ser detectado y clasificando juzgando si una ventana data representa al objeto en si o no [9] [8].

3.5. CASIA-Iris

A pesar de contar con un patrón para el reconocimiento de personas que posee unas características muy precisas e ideales debido al origen de su naturaleza como es el iris, son muchas las tareas y desafíos que se presentan y quedan pendientes en

el desarrollo de un algoritmo de alta calidad para conseguir una alta tasa de efectividad. Hay que tener en cuenta que el reconocimiento automático del iris tiene que hacer frente a múltiples y diversas variaciones impredecibles de las imágenes del iris que se pueden dar en aplicaciones del mundo real. Por ello, pueden producirse situaciones en las que se deba reconocer imágenes de iris con una pobre calidad, con posibles deformaciones, imágenes de iris que se han tomadas a distancia o en movimiento, incluso imágenes de iris falsas que se encuentran impresas en un papel o través de una fotografía. Por todo esto, se diseñó y desarrolló una rápida solución para solventar estos problemas, creando una base de datos de imágenes de iris que incluyesen todas esas variaciones [4].

Con esta idea nació la base de datos CASIA Iris Image, desarrollada por un grupo investigación del instituto “Chinese Academy of Sciences - Institute of Automation (CASIA), China” y liberada para la comunidad internacional de biometría, la cual se ha ido actualizando desde su primera versión CASIA-IrisV1. Las imágenes de la base de datos CASIA-Iris contiene imágenes de más de 3.000 usuarios de 70 países diferentes, lo que hace que exista una alta diversidad de rasgos y características [4].

CASIA-IrisV4 es una extensión de CASIA-IrisV3 que contiene seis subconjuntos. Los tres subconjuntos CASIA-Iris-Internal, CASIA-Iris-Lamp y CASIA-Iris-Twins son heredados de CASIA-IrisV3, mientras que los subconjuntos CASIA-Iris-Distance, CASIA-Iris-Thousand y CASIA-Iris-Syn son nuevos en esta versión.

CASIA-IrisV4 contiene un total de 54.601 imágenes de iris de más de 1.800 sujetos auténticos y 1.000 sujetos virtuales. Todas las imágenes de iris son ficheros JPEG de 8 bits en escala de grises.

Las imágenes de iris CASIA-Iris-Internal fueron tomadas de individuos asiáticos y capturadas en el espectro cercano al infrarrojo utilizando una óptica digital especializada la cual fue desarrollada por CASIA. La característica más atractiva de esta cámara es el diseño de una matriz circular NIR LED, con un flujo de luminosidad adecuado, lo que permite que se puedan capturar imágenes de iris muy limpias y claras.

Las imágenes tienen una resolución de 320X280 píxeles. Las imágenes reunidas en esta base de datos presentan afectaciones por oclusiones de pestañas, oclusiones de párpados, reflexiones especulares y cambios bruscos de iluminación. Las imágenes de cada individuo fueron tomadas de los ojos izquierdo y derecho en dos sesiones con intervalo de 1 mes entre las sesiones. La base de datos CASIA-IrisV4-Interval contiene 2639 imágenes en escalas de grises que corresponden a 249 individuos [4].

El desarrollo de la etapa de adquisición de imágenes es la primera etapa en un sistema de reconocimiento biométrico como hemos visto en el anterior capítulo. En este caso, la base de datos **CASIA-IrisV4** será la que cubra el desarrollo de esta etapa, siendo dichas imágenes las que se utilicen en el sistema de reconocimiento para probar su fiabilidad.

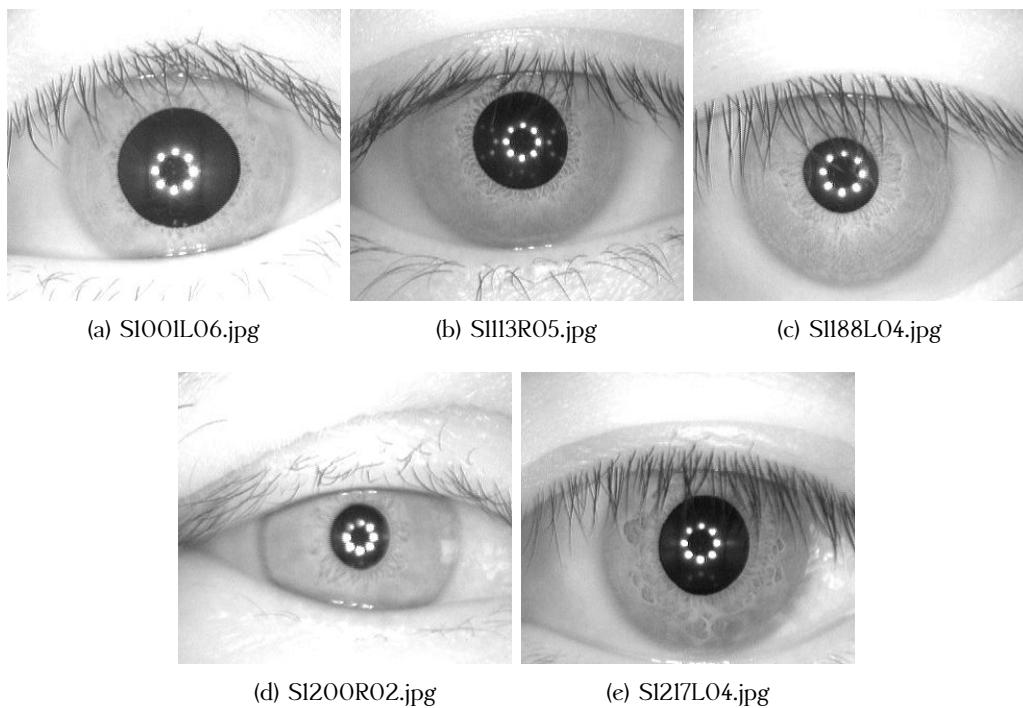


Figura 3.1: Imágenes de la base de datos CASIA-IrisV4.

Apéndice A

Frequently Asked Questions

A.1. How do I change the colors of links?

The color of links can be changed to your liking using:

```
\hypersetup{urlcolor=red}, or  
\hypersetup{citecolor=green}, or  
\hypersetup{allcolor=blue}.
```

If you want to completely hide the links, you can use:

```
\hypersetup{allcolors=.}, or even better:  
\hypersetup{hidelinks}.
```

If you want to have obvious links in the PDF but not the printed text, use:

```
\hypersetup{colorlinks=false}.
```


Bibliografía

- [1] ".efficient iris recognition by characterizing key local variations". *IEEE Transactions On Image Processing*, vol. 13, June 2004.
- [2] "boost". v1.63.0.
- [3] ".opencv". v3.2.0.
- [4] ".casia-iris". V4.
- [5] Harry Wechsler Azriel Rosenfeld. "pattern recognition: Historical perspective and future directions". March 2000.
- [6] Yuniel Alvarez Betancourt. "reconocimiento de iris basado en fusión de información para condiciones no ideales". April 2015.
- [7] W. W. Boles and B. Boashash. ".a human identification technique using images of the iris and wavelet transform". *IEEE Transactions On Signal Processing*, vol. 45, April 1998.
- [8] K. Bowyer and M. J. Burge. "handbook of iris recognition". 2016.
- [9] P. Wild C. Rathgeb, A. Uhl and H. Hofbauer. "design decisions for an iris recognition sdk". 2016.
- [10] R. Sanchez-Reillo C. Sanchez-Avila and D. de Martin-Roche. "iris-based biometric recognition using dyadic wavelet transform". *IEEE AESS Systems Magazine*, October 2002.
- [11] J. Daugman. "how iris recognition works". *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2004.

- [12] 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, November 1993.
- [13] T. Tan-L. Ma J.Cui, Y. Wang and Z. Sun. .^a fast and robust iris localization method based on texture segmentation". *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2004.
- [14] Y. Wang L. Ma, T. Tan and D. Zhang. "personal identification based on iris texture analysis". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, December 2003.
- [15] J. R. M. S. C. Hsu R. J. Kolczynski R. P. Wildes, G. L. G. J. C. Asmuth and S. E. McBride. .^a system for automated iris recognition". *IEEE Workshop Mach*, 1994.
- [16] S. C. Hsu R. J. Kolczynski J. R. Matey R. P. Wildes, J. Asmuth and S. E. McBride. .^automated, noninvasive iris recognition system and method". 1996.
- [17] Iridian Technologies. "moorestown, nj". 2005.
- [18] N. Schmid V. Dorairaj and G. Fahmy. "performance evaluation of non-ideal iris based recognition system implementing global ica encoding". *Proceeding International Conference on Image Processing ICIP*, 2005.
- [19] R. P. Wildes. *iris recognition: An emerging biometric technology*". *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, September 1997.
- [20] J. Zhu and J. Yang. "subpixel eye gaze tracking". *IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 2002.