
RECONOCIMIENTO DEL IRIS

LAURA FLORIAN CRUZ
FREDY CARRANZA ATHÓ

TÓPICOS ESPECIALES EN PROCESAMIENTO GRÁFICO
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INFORMÁTICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

Trujillo Perú

2006

Resumen. El reconocimiento del iris, como una técnica biométrica es uno de los modelos más efectivos para la identificación de una persona. Este método es estudiado por muchos investigadores. Uno de ellos es Daugman y propone una técnica que se basa en capturar la imagen del iris, y proceder a normalizarla a través de una conversión a coordenadas polares, y la aplicación contigua de ecuaciones diferenciales que permiten la obtención de un patrón denominado código del iris. Para la comparación de dos patrones, se utiliza la distancia de Hamming. Donde los resultados que se obtienen son muy eficientes y con mucha precisión, y cada vez se amplía su uso.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia el ser humano ha implementado distintos métodos para reconocerse y poder distinguirse entre las demás personas. Esto nace debido al interés natural del hombre por querer proteger lo que le pertenece y mantener privacidad en sus acciones. Dado eso, es que un reconocimiento confiable de las personas ha sido siempre una meta a alcanzar.

Es así como nace una ciencia en la cual fundamentos matemáticos y características humanas llegan a mezclarse. A esto se le denomina Biometría. Entonces, para realizar un estudio biométrico y el reconocimiento de una persona, será necesaria una característica invariante a lo largo de su vida. A este proceso se le conoce como el reconocimiento de patrones.

Dentro del reconocimiento de patrones, existe una premisa importante: los objetos pueden ser correctamente clasificados si la variabilidad dentro de instancias de una clase dada, es menor que la variabilidad entre dos clases diferentes. Tomando como ejemplo el reconocimiento de rostros, en él se presentan grandes dificultades para ubicar los ojos, la nariz, boca, y demás. Y donde además, los gestos, las muecas y el paso del tiempo modifican el patrón de identificación.

Es por esto, que el *Reconocimiento del iris* es uno de los avances más interesante y confiables dentro del reconocimiento de personas. Este método presenta las menores tasas de falla, y posee la cualidad que al analizar los patrones en personas distintas, la variabilidad es enorme. Además de todos estos beneficios, el iris permanece casi invariante por toda la vida ya que se encuentra protegido y a la vez la eliminación del ruido o los cambios de iluminación, son resueltos de manera muy simple.

2. DEFINICIONES IMPORTANTES

2.1. Iris

El iris es un órgano interno del ojo, localizado por detrás de la córnea y del humor acuoso, pero en frente de los lentes; diferencia el color de ojos de cada persona, es igual que la vasculatura retinal.

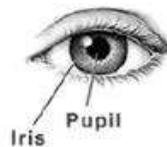


Figura 1.

2.2. Patrón del iris

Una propiedad que el iris comparte con las huellas dactilares es la morfología aleatoria de su estructura. No existe alteración genética en la expresión de este órgano más allá de su forma anatómica, fisiología, color y apariencia general. La textura del iris por sí misma es estocástica o posiblemente caótica. Pero el iris disfruta de ventajas prácticas adicionales sobre las huellas dactilares y otras variables biométricas, como son:

- La facilidad de registrar su imagen a cierta distancia, sin la necesidad de contacto físico o intrusivo y quizás discretamente.
- El alto nivel de aleatoriedad en su estructura que permite 266 grados de libertad que pueden ser codificados y una densidad de información de 3.4 bits por mm² de tejido.
- Estable y sin cambio durante el periodo de vida del sujeto, inalterable durante toda la vida de la persona.

El propósito del reconocimiento del iris es obtener en tiempo real, con alto grado de seguridad, la identidad de una persona; empleando análisis matemático del patrón aleatorio que es visible dentro del ojo a cierta distancia. Debido a que el iris es un órgano interno protegido (inmune a influencias ambientales) con textura aleatoria, estable (sin cambios), él puede ser usado como una clave viva que no necesita ser recordada pero que siempre estará ahí.

El iris se ve afectado por la pupila cuando ésta reacciona a la luz. Las deformaciones elásticas que ocurren con la dilatación y contracción son rápidamente corregidas empleando algoritmos matemáticos que se encargan de localizar los bordes interno y externo del iris.

3. FUNDAMENTOS DEL RECONOCIMIENTO DE IRIS

Dentro de este apartado, se podrá observar el desarrollo del punto central, tomando como referencia principal, los estudios de John Daugman, quien ha realizado múltiples técnicas en el campo de la biometría. Los métodos que desarrolló son utilizados comercialmente por muchas compañías, como es el caso de LG, IBM, NBTC, Telecom, etc. Sin embargo se han tomado nociones de otros autores, con el fin de obtener un resultado más completo. Y vale mencionar también que existen diferentes técnicas aparte de la de Daugman, como la de Comparación de histogramas o la de Análisis de texturas, por mencionar algunas.

Para desarrollar algún tipo de proyecto o lograr obtener una aplicación de reconocimiento de iris, es necesario plantear un sistema ordenado. Un sistema de reconocimiento de iris típico se representa esquemáticamente en la Fig. 2.

En la primer etapa, se adquiere la imagen del iris de la persona a ser reconocida. Luego, la imagen digital es procesada para localizar el iris en la misma y normalizar su tamaño. En tercer lugar, la información contenida en el patrón de iris es extraída y un código asociado con el iris es generado. Finalmente, en la etapa de comparación, se decide, en base al porcentaje de similitud obtenido, si los códigos comparados fueron generados por el mismo iris, o sea, por la misma persona, o no.

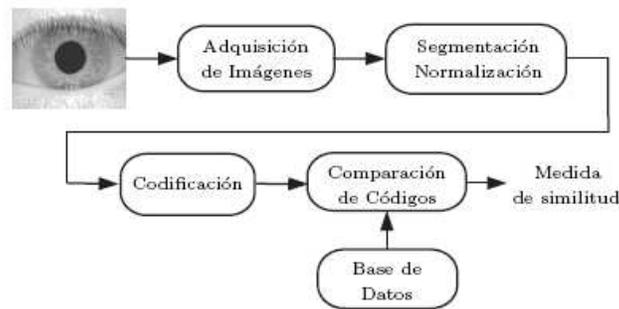


Fig. 2. Diagrama en bloques del sistema de reconocimiento del iris.

En general, los sistemas de reconocimiento de personas pueden ser utilizados en dos modos de funcionamiento diferentes, Autenticación e Identificación, Fig. 3. En el primero, el código de iris se compara con el código asociado a la identidad proclamada por la persona, y se decide si estos códigos han sido generados por el mismo iris o no.

En el segundo, el código de iris ha reconocer es comparado con una base de datos para comprobar la identidad de la persona.

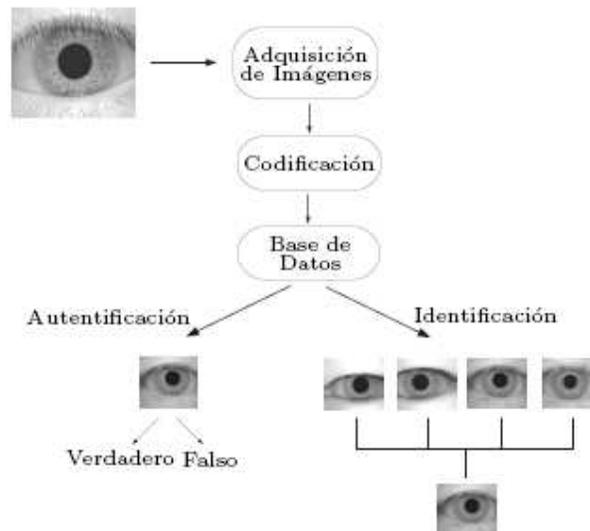


Fig. 3. Sistema de reconocimiento. Autenticación e Identificación.

3.1. Adquisición de Imágenes

Uno de los desafíos mayores de reconocimiento del iris es capturar una imagen de calidad superior del iris. Dado que el iris es un relativamente pequeño y oscuro (típicamente de un centímetro de diámetro), esta se requiere ingeniería cuidadosa. Esta es una etapa muy importante ya que la performance de todo el sistema es afectada directamente por la calidad de la imagen adquirida.

Primero, es deseable adquirir imágenes del iris con resolución suficiente y agudeza para obtener un buen el reconocimiento. Segundo, es importante tener un buen contraste en el modelo del iris interior sin acudir a un nivel de iluminación que incomoda al usuario. Tercero, estas imágenes deben idearse bien (por ejemplo, centradas), preferentemente sin exigirle al usuario que emplee el resto de la barbilla, u otro posicionamiento de contacto que sería intrusivo.

Para capturar la mayor cantidad de detalles en los patrones de iris, un sistema de adquisición de imágenes, debería poseer una revolución mínima de 70 píxeles en el radio del iris. Actualmente las resoluciones más comunes en el radio del iris van de 100 a 140 píxeles.

Existen distintos sistemas de adquisición de imágenes, la mayoría de ellos utilizan cámaras de video y sistemas de iluminación sofisticados. En este trabajo se propone un sistema de adquisición de imágenes de bajo costo basado en una cámara digital convencional. En la Fig.4 se representa un esquema del sistema de adquisición propuesto. La lente plano-convexa ha sido agregada al sistema óptico de la cámara de manera de adquirir imágenes del ojo bien enfocadas y con la suficiente resolución a una distancia entre 10cm y 15cm.

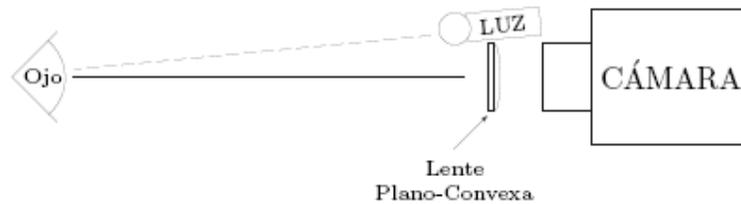


Fig. 4. Esquema del sistema de adquisición propuesto

3.2. Preprocesamiento

Ocurre que la imagen digital utilizada por el sistema de reconocimiento no sólo contiene el iris, sino también las regiones que lo rodean. Además, la imagen del iris suele estar obstruida por los párpados, pestañas y reflexiones producidos por el sistema de iluminación.

Por otra parte, el tamaño del iris generalmente varía en diferentes imágenes debido a la contracción/dilatación del iris causada por diferentes niveles de iluminación, diferentes distancias ojo/cámara, rotación del ojo y otros factores.

Por estos motivos es necesario aplicar un procesamiento a las imágenes antes de utilizarlas en la etapa de decodificación, el cual puede ser dividido en dos etapas:

- Segmentación, donde se localiza la imagen del iris.
- Normalización, por la cual se obtiene una imagen del iris que es independiente del tamaño de la pupila y permite la comparación entre diferentes iris.

3.2.1. Segmentación

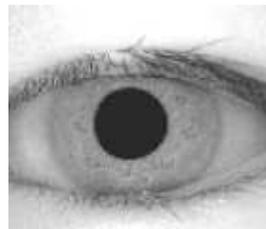


Figura 5. Figura original desde donde se comienza el análisis

La etapa de segmentación es muy importante ya que si el iris no es correctamente localizado las etapas posteriores utilizarán datos erróneos, por lo tanto el código generado contendrá errores y el rendimiento del sistema será muy bajo.

El iris es la región anular comprendida entre la esclerótica y la pupila, la región del iris puede ser modelada como dos círculos no concéntricos, el exterior representa el borde iris/esclerótica, y el interior el borde

iris/pupila; además los párpados, los cuales generalmente obstruyen el iris, pueden ser modelados como curvas segmento-lineales.

A pesar que los resultados de la búsqueda del iris restringen la búsqueda de la pupila, la concentricidad de estos bordes no puede ser asumida. Muchas veces el centro de la pupila es nasal, e inferior al centro del iris. Su radio puede tener un rango desde 0.1 hasta 0.8 del radio del iris. Un operador muy efectivo para determinar el centro del iris y la pupila es la siguiente expresión integro diferencial:

$$\max_{(r,x_0,y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r,x_0,y_0} \frac{I(x,y)}{2\pi r} ds \right|$$

Donde $I(x,y)$ es una imagen como el de la figura 5. El operador busca sobre toda la imagen el dominio máximo (x,y) en la derivada parcial con respecto al radio r . El símbolo asterisco denota convolución. El operador de manera se comporta como un detector de bordes circular.

El operador sirve para encontrar dos bordes: el borde pupilar y el borde del iris, a través de un método iterativo denominado "De grueso a delgado". Luego de una manera similar para detectar bordes curvilíneos es usada para localizar los bordes de los párpados. El resultado de todas estas operaciones de localización es el aislamiento del iris de otras regiones de la imagen como se muestra en la figura 6.

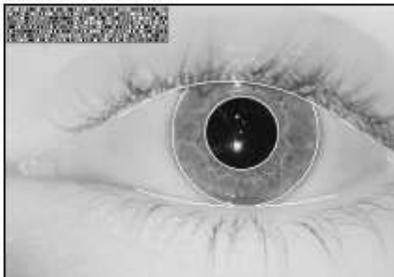


Figura 6. Ejemplo de un patrón de iris a una distancia de 35 cm.
Las líneas indican los bordes de la pupila el iris y los párpados.

3.2.2. Normalización

Una vez localizado el iris en la imagen adquirida se genera una nueva imagen donde la región del iris es independiente del tamaño del mismo y permite la comparación con otros irises. La etapa de normalización producirá imágenes de iris que tienen las mismas dimensiones.

De esta manera dos imágenes del mismo iris, adquiridas bajo diferentes condiciones, tendrían las mismas características espaciales. Para llevar a cabo esta tarea, el algoritmo propuesto utiliza el método propuesto por Daugman, denominado modelo homogéneo "rubber - sheet". Este modelo asignan a cada punto en el iris un par de coordenadas reales (r,θ) , donde r esta en el intervalo cerrado $[0,1]$ y θ es un ángulo $[0,2\pi]$. El redibujado de la imagen del iris $I(x,y)$ de coordenadas cartesianas a coordenadas polares dimensionales no concéntricas puede ser representado como

$$I(x(r,\theta),y(r,\theta)) \rightarrow I(r,\theta)$$

Donde $x(r,\theta)$ y $y(r,\theta)$ son definidos como combinaciones lineales del conjunto de puntos del borde de la pupila y el conjunto de puntos del limite del limbo a lo largo del perímetro exterior del iris. Los dos son hallados encontrando el máximo del operador anterior.

Dado que las coordenadas radiales a partir desde el borde interno del iris hacia el borde externo tienen un intervalo de una unidad, inherentemente corrige el patrón de deformación elástica cuando la pupila cambia de tamaño.

Este método transforma la región anular del iris en una región rectangular de dimensiones constantes. En la Fig. 7 se representa esta transformación, donde $I(x, y)$ es la imagen original e $I_n(X, Y)$ es la imagen normalizada, denominada iris normalizado.

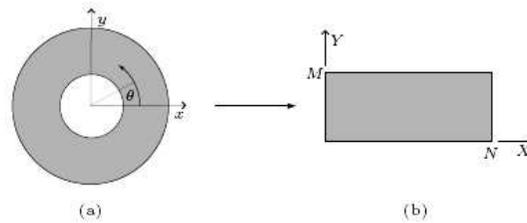


Fig. 7. Normalización. (a) Imagen original $I(x, y)$. (b) Imagen normalizada $I_n(X, Y)$

Además de generar la imagen normalizada del iris, en esta etapa se genera otra imagen denominada plantilla de ruido. La plantilla de ruido tiene las mismas dimensiones que el iris normalizado, y en esta se indican las regiones del iris normalizado donde el patrón de iris es obstruido por los párpados, ver Fig. 8. La plantilla de ruido, Fig. 8 (c), es utilizada como máscara en la etapa de comparación para evitar comparar regiones donde el iris es obstruido por los párpados.



Fig. 8. Normalización. (a) Imagen segmentada. (b) Iris normalizado. (c) Plantilla de ruido.

3.3. Codificación

Cada patrón aislado del iris es luego demoludado para extraer su información de fase usando al cuadratura 2D-Gabor-Wavelets. Este proceso se muestra en la figura 9. esto conduce a una fase de digitalización del patrón del iris, identificando en que cuadrante del plano complejo cada fasor resultante iría, cuando un área dada del iris es proyectada en el valor complejo de 2D-Gabor-Wavelets :

$$h_{\{Re, Im\}} = \text{sgn}_{\{Re, Im\}} \int_{\rho} \int_{\phi} I(\rho, \phi) e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} \cdot e^{-(r_0 - \rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} \rho d\rho d\phi$$

Donde $h_{\{Re, Im\}}$ puede ser visto el bit del valor complejo cuya parte real e imaginaria pueden ser 1 o 0 dependiendo del signo de la integral doble $I(\phi, \rho)$, es la imagen del iris en coordenadas polares que tiene el tamaño invariante y además corrige la dilatación de la pupila como hace en la sección anterior. α y β son parámetros de tamaño multiescala de dos dimensiones de wavelets, extendidos en 8 secciones de un rango de 0.15 mm a 1.2 mm en el iris.

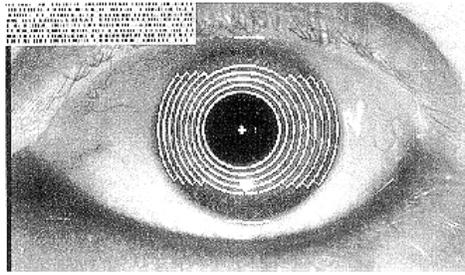


Figura 9. Mapa del Iris. En la parte superior se aprecia el código generado.



Figura 10. Representación pictórica del código de iris

El patrón detallado del iris es codificado en un código de 256 bytes, el cual representa todos los detalles de la textura empleando fasores en el plano complejo.

3.4. Reconocimiento

La clave para el reconocimiento del iris es la falla de un test de independencia estadística, la cual involucra muchos grados de libertad, esto significa que el test es garantizado de finalizar con éxito cuando los códigos de fases de dos ojos diferentes son comparados, pero únicamente falla cuando un código de fase de un ojo es comparado con otra versión de si misma.

El test de independencia estadística es implementado por la expresión booleana XOR y es aplicada a los 2048 bits que codifican a cada uno de los dos patrones del iris. El operador XOR detecta falta de concordancia entre los correspondientes pares de bits, mientras la operación AND (intersección), asegura que los bits comparados no sean malinterpretados por puntos de los parpados, reflexiones especulares o ruido. Las normalizaciones del vector resultante y el vector mascara AND son luego calculados para determinar la distancia de Hamming como al medida de disimilitud entre dos irises, cuyos dos vectores de códigos son denotados por [codeA, codeB] y cuyas mascarar de vectores de bits son denotadas como [maskA, maskB]

$$HD = \frac{\|(codeA \otimes codeB) \cap maskA \cap maskB\|}{\|maskA \cap maskB\|}$$

El valor de similitud absoluta es un 0, mientras que los valores mayores hasta el valor 1 representan la disimilitud.

El histograma de la figura 11, muestra la distribución de las HDs obtenidas a partir de 9.1 millones de comparaciones entre diferentes pares de irises.

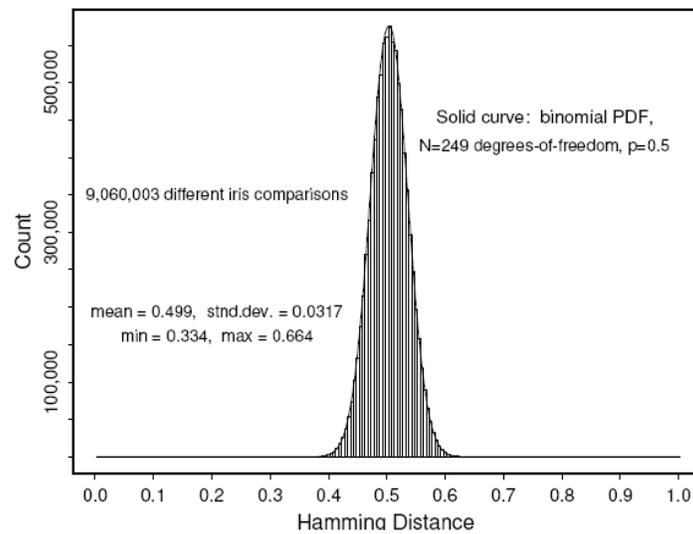


Figura 11. Distribución de HDs a partir de 9.1 millones de comparaciones entre diferentes pares de irises de una base de datos

Cada una de las diferentes comparaciones hechas anteriormente fueron sometidas a ligeras variaciones. Se cambiaron ligeramente los iris de manera que se tuvieron 7 nuevos. Esto generó 63 millones de HDs. En el siguiente gráfico se observa el histograma de solamente de los mejores valores obtenidos, es decir de los menores HDs. El HD promedio en este gráfico es de 0.458 mientras que en la comparación anterior el valor promedio era de 0.499. Estos valores en teoría deberían ser iguales por lo tanto para poder identificar los patrones de iris con una lata confiabilidad necesitamos establecer un rango, este se da a través de la diferencia de estos dos últimos cálculos, lo que indicaría que para que dos irises sean iguales debe cumplirse que $HD \leq 0.32$.

4. SENSORES

4.1. SISTEMA GENERAL

En sistemas para el reconocimiento del iris es común encontrar cámaras de vídeo de tipo CCD. En la figura se puede apreciar un diagrama de bloques de esta cámara.

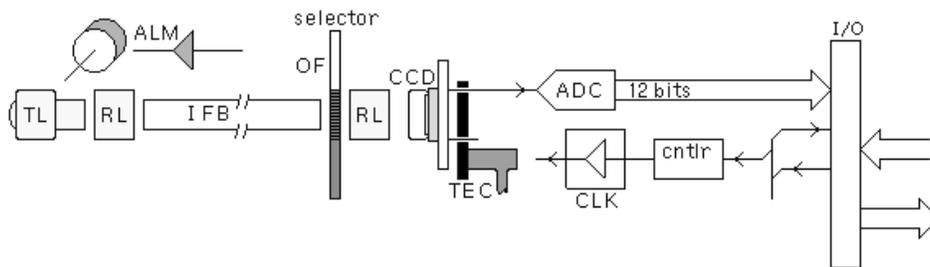


Figura 12. Sistema en de una cámara CCD.

El corazón de la cámara es un circuito integrado tipo CCD (Dispositivo de Carga Acoplada). Este dispositivo consiste de varios cientos de miles de elementos individuales (píxeles) localizados en la superficie de un diminuto CI.

Cada píxel se ve estimulado con la luz que incide sobre él (la misma que pasa a través de los lentes y filtros de la camera), almacenando una pequeña carga de electricidad. Los píxeles se encuentran dispuestos en forma de malla con registros de transferencia horizontales y verticales que transportan las señales a los

circuítos de procesamiento de la cámara (convertidor analógico-digital y circuítos adicionales). Esta transferencia de señaless ocurre 6 veces por segundo.

4.2. DISPOSITIVOS

1. LG Electronics

IrisAccess 3000, de LG, es el resultado de la integración de la tecnología iCLASS de tarjetas inteligentes, de HID, con la solución líder en todo el mundo en tecnología de reconocimiento del iris del ojo.



Ahora la tecnología biométrica más exacta del mundo, el reconocimiento del iris del ojo, se ofrece en formato de tarjeta inteligente, gracias a la integración con los nuevos lectores y tarjetas iCLASS, de HID. Con el código de iris (IrisCode®) de 512 byte incorporado en el token, la unión de esta avanzada tarjeta inteligente sin contacto y la elevada integridad de verificación de identidad que garantiza la tecnología biométrica sin contacto, IrisAccess 3000 ofrece lo más moderno en autenticación doble. Ideal para una gran gama de aplicaciones de alta seguridad, donde el énfasis esté en la protección de los recursos humanos o los bienes materiales, esta solución resulta perfecta en lugares donde es necesario

utilizar ropa y espejuelos para protección.

La División de Tecnología del Iris, de LG Electronics, distribuye y comercializa IrisAccess 3000, de LG, el modelo más moderno de la principal plataforma de reconocimiento de iris del mundo.

2. Panasonic



El reconocimiento del iris del ojo es la forma de autenticación e identificación no invasiva más exacta y confiable que existe. Con la introducción de PEARLS, Panasonic sigue en busca de aplicaciones nuevas y de alta eficiencia para la tecnología de identificación a partir del iris del ojo.

La cámara de reconocimiento del iris BM ET300, de Panasonic, junto con el software de aplicación PEARLS, de la misma compañía, ofrecen una solución completa para crear tarjetas iCLASS con el código IrisCode®, utilizadas para una amplia gama de soluciones de control. La solución completa integra lectores iCLASS tanto de HID como de RF IDEas. El código IrisCode® puede ser leído directamente por la cámara BM ET300, o utilizado junto con la cámara para escritorio BM ET100 –que ha sido merecedora de premios– para una cobertura completa “Door to Desktop” (desde la puerta hasta el escritorio).

Características:

- Tecnología biométrica no invasiva y de gran exactitud.
- Integración total de iCLASS y IrisCode® en una tarjeta inteligente.
- Salidas Wiegand y RS 485, compatible con lectores y aplicaciones en uso.
- Software de aplicación fácil de usar, o kit para desarrolladores de software disponible (SDK). Certificación UL 294.

5. APLICACIONES

5.1. En aeropuertos



Aeropuertos Schiphol ofrecen tanto a líneas aéreas como a aeropuertos un innovador y rápido sistema de seguridad basado en tecnología de escaneo del iris del ojo humano.

El sistema identifica y verifica la identidad de los viajeros en aeropuertos y líneas aéreas a través del escaneo en tiempo real del iris, conectado a una base de datos encriptada que está almacenada en una tarjeta inteligente. Para la seguridad y de forma complementaria al control manual de pasaportes, para el etiquetado, comprobación de los pasajes, acceso y embarque (facturación).

El sistema procesa los datos de 4 o 5 personas por minuto, tiene una alta fiabilidad y puede tomar decisiones rápidas sobre si la persona es quien dice ser o no.

El procedimiento de seguridad de esta solución tiene dos fases. En la primera (de unos 15 minutos de duración, aproximadamente) el viajero es calificado y registrado. Se revisa su pasaporte, pasa el control reglamentario y se escanea el iris de su ojo. Estos datos son encriptados e insertados en una tarjeta inteligente.

Durante la segunda fase (de 10-15 segundos aproximadamente) se identifica y se confirma la identidad del pasajero registrado en la zona de embarque. Esta operación se lleva a cabo cuando el viajero llega a la entrada de la puerta de embarque correspondiente e inserta la tarjeta en el lector. El sistema lee la tarjeta, la comprueba y permite la entrada del viajero a una zona aislada. Es entonces cuando la persona mira a una cámara que escanea su iris. Si los datos corresponden con los datos de la tarjeta, el viajero puede continuar su camino. Si no, no se permite la entrada del pasajero y el sistema dirige al individuo hacia la línea de control policial de pasaportes.

El módulo de reconocimiento del iris, está basado en una cámara LG220 que incluye un software que permite intercambiar datos biométricos encriptados con una tarjeta inteligente.

5.2. Móviles

Identificación del iris en lugar de número PIN para acceder al móvil. Este sistema ya está disponible para teléfonos móviles. La seguridad y la comodidad son los factores que, según un estudio de LogicaCMG, han llevado a los europeos a una mayoritaria aceptación de la biometría.

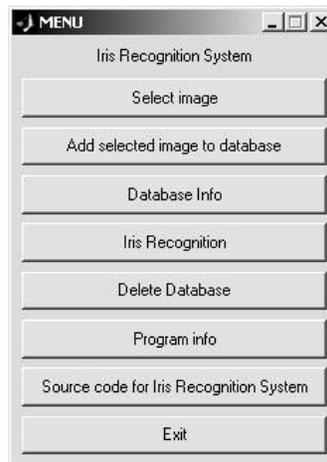
5.3. Otros ejemplos

Existen además de éstas dos mencionados, el reconocimiento del iris, es aplicado actualmente en compañías que desean mantener cierto nivel de seguridad en áreas restringidas. Un caso a citar es a U.S. Government Solutions. Además de ello existen instituciones como es el caso del Gobierno Regional del Chaco – Argentina, que implantó un sistema como este para reemplazar al popular marcado de tarjeta, dado que muchos trabajadores cobraban sin ir a trabajar. Otro ejemplo, es en la localización de personas desaparecidas, que se encuentra implementado en la Isla de Norfolk – Australia. Realmente el uso de esta tecnología viene expandiéndose cada vez más, de manera que en el menor tiempo pensado, puede que un sistema de estos emerja cerca de nosotros.

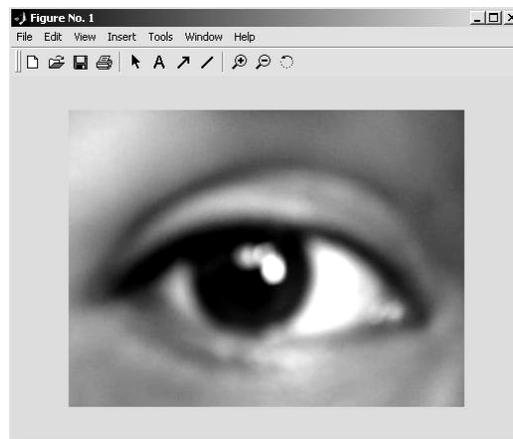
6. DEMO

El siguiente programa de aplicación, tiene por nombre iris Recognition System Matlab Source Code. Fue implementado por Luigi Rosa y utilizó MatLab para ello.

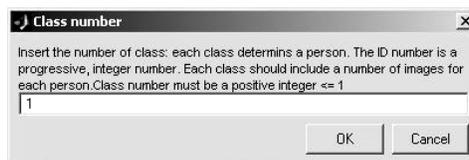
Para la ejecución del programa, es necesario MatLab y el Image Processing Toolbox. Solo basta con ingresar a la ventana de comandos y direccionar la carpeta de trabajo donde se tiene el programa. A continuación basta con tipear el comando 'irisrecognition', y nos mostrará la siguiente interfaz.



Al dar clic en Select Image, el programa nos permitirá escoger una imagen deseada, la cual deberá estar en escala de grises y obviamente contener la imagen de un iris.



A continuación se procede a agregar la imagen a través del botón Add selected image to database, de manera que seleccionamos una clase, que en otras palabras significa un identificador para la persona a la cual pertenece la foto. Vale aclarar que se pueden ingresar más de una imagen para la misma clase, permitiendo que la comparación se realice de una mejor manera.



Como paso siguiente, después de añadir las imágenes deseadas sean o no de la misma clase, se procede a seleccionar una nueva imagen con la cual se pedirá que el sistema reconozca a que clase pertenece, para ello

solo basta con cargar la imagen y dar clic en el botón Iris Recognition. El mensaje de salida es mostrado en la ventana de comandos.



```
Command Window
Features extraction for iris recognition...please wait
Input iris image: C:\Matlab6p5\work\iris\3.jpg
---
Current scanned iris image:C:\Matlab6p5\work\iris\1.jpg ID: 1
---
Recognized iris image: C:\Matlab6p5\work\iris\1.jpg
Recognized ID
1
```

7. CONCLUSIONES

- El campo de la biometría es muy amplio, y es una ciencia en crecimiento e investigación constante. Los métodos utilizados nos refieren siempre al campo del cálculo y el análisis estadístico. Los parámetros matemáticos siempre estarán inmersos dentro de este tipo de análisis y es más, a medida que el estudio se profundiza más, se requerirán mucho más conocimientos matemáticos.
- El reconocimiento del iris, es un proceso muy efectivo, que muestra las tasas más altas de precisión, en comparación con métodos conocidos, como el reconocimiento de huellas, rostros y manos. Es por ello que a medida que pasa el tiempo, cada vez más empresas y gente interesada en protegerse o proteger sus pertenencias utiliza seguridad a través del reconocimiento de iris.
- A pesar de que las imágenes obtenidas, presenten ciertos inconvenientes como reflejos especulares, o ciertas zonas con partes del párpado o las pestañas, los métodos de preprocesamiento, permiten eliminar dichos píxeles de manera que la identificación es exacta.
- El reconocimiento del iris, es uno de los métodos menos intrusivos, el más efectivo, pero a su vez uno de los más caros de implantar, los equipos para la captura de imágenes aún poseen precios no accesibles a la gran mayoría.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. DAUGMAN, *How Iris Recognition Works*, United Kingdom, 2004, University of Cambridge.
- [2] L. MASEK, *Recognition of Human Iris Patterns for Biometric Identification*, Australia, 2003, University of Western.
- [3] L. CÁZARES, E. CHÁVEZ, *Reconocimiento de personas por medio del iris*[en línea], México, Universidad Iberoamericana de la Ciudad de México.
<<http://www.iec.uia.mx/proy/titulacion/pr04/proy11/>>
- [4] V. BHAGAVATULA, *Iris Recognition*, United States, 2006, Carnegie Mellon University.
- [5] A. BASIT, M.Y. JAVED, M.A. ANJUM, *Efficient Iris Recognition Method for Human Identification*, 2005, World Enformatika Society.
- [6] R.P.WILDES, *Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology*, IEEE, United States.
- [7] P. OLGUÍN, *Sensores Biométricos*[en línea], 2002, Venezuela, Universidad Experimental Politécnica.
<http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No6/Olguin%20Patricio/SEN_BIOMETRICOS.html>
- [8] *Biometric recognition: techniques, applications and challenges*[en línea], Advanced Source.Com,
<<http://www.advancedsourcecode.com/>>
- [9] C. BAPTISTE, *Iris Recognition*, École Polytechnique Fédérale de Laussane