

En los últimos cuatro años, la Identificación Biométrica ([Jain99]) basada en el Patrón del Iris Ocular ha experimentado un gran auge debido a los excelentes resultados obtenidos y al gran interés que está mostrando la Banca para incorporar dicha técnica a sus Cajeros Automáticos. El reconocimiento por Iris parte de los trabajos llevados a cabo por John G. Daugman [Dau93], actualmente profesor de la Universidad de Cambridge ([Wil97]). Como se expondrá, esta técnica presenta una tasas de Falso Rechazo muy bajas manteniendo, al mismo tiempo, unas tasas de Falsa Aceptación prácticamente nulas. Por contra tiene un coste, tanto computacional como económico, excesivamente elevado para algunas aplicaciones.

El Iris Ocular como parámetro para la Identificación Biométrica

INTRODUCCIÓN

La idea de utilizar el patrón del iris para identificar a las personas fue propuesto inicialmente en 1936 por el oftalmólogo Frank Burch. Sin embargo, no fue hasta la década de los 80, cuando empezó a ser conocida dicha idea, en forma de diversas películas de ficción (James Bond, Misión Imposible, etc.). Pero no sería hasta 1987, cuando Leonard Flom y Aran Safir, oftalmólogos americanos, patentaron el concepto de Burch. Su interés en desarrollar el sistema, les empujó a contactar con John G. Daugman, profesor por entonces de la Universidad de Harvard, para que éste desarrollase los algoritmos necesarios para realizar el reconocimiento biométrico a través del patrón del iris. Estos algoritmos, patentados por Daugman en 1994, y publicados en parte en [Dau93], son la base de todos los sistemas de reconocimiento por iris existentes.

En esta introducción se expondrán las características principales de esta técnica, para que en secciones posteriores se detallen los algoritmos utilizados y, posteriormente, mostrar los resultados obtenidos en prototipos desarrollados por el autor.

Para observar detenidamente las ventajas de esta técnica, es necesario revisar algunos conceptos relacionados con la anatomía del ojo humano, ya que, precisamente, su constitución anatómica va a influir notablemente en la dificultad del fraude utilizando esta técnica. Posteriormente se resumirán las mencionadas ventajas para, por último, comentar la evolución tecnológica y comercial de los dispositivos relacionados con esta técnica.

Anatomía del Ojo

Los ojos son los órganos humanos que facilitan el sentido de la visión. El cuerpo humano consta de dos ojos, lo cual

facilita una visión estereoscópica. Se comienzan a formar en el 25º día de la fase embrionaria y hacia la octava semana termina la génesis del esbozo ocular, que seguirá madurando hasta el noveno mes. La estructura de un ojo, una vez maduro, se puede ver en la Figura 1. De una forma muy simplificada, puede considerarse como una cavidad esférica recubierta por tres capas (externa, media e interna). La cavidad esférica, a su vez, puede considerarse dividida en tres cámaras (anterior, posterior y vítrea).

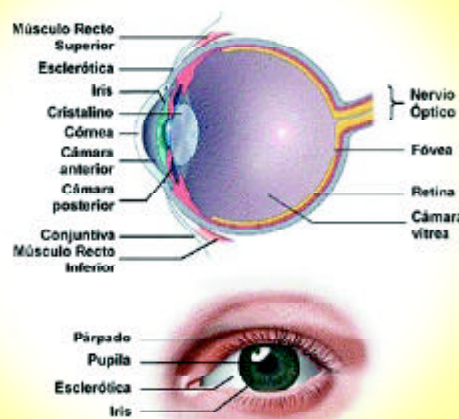
Para el tema que nos ocupa, es preciso destacar que la capa externa está compuesta por la esclerótica (la zona blanca de los ojos), capa que en su parte exterior se encuentra cerrada por la córnea. La córnea es una capa que comunica ópticamente al exterior con el interior del globo ocular, proporcionando una protección frente a elementos externos. Se puede considerar como una lente externa que posee el mayor poder refractivo dentro del ojo.

Por su parte, la capa media (denominada úvea) está formada en su parte anterior (la más cercana a la córnea) por el cuerpo ciliar y el iris. La parte muscular del cuerpo ciliar se encarga, fundamentalmente, de la acomodación del cristalino. Por otro lado, el iris consta de un estroma con células pigmentadas y de un epitelio que, además de células pigmentadas, contiene los músculos esfínter y dilatador del iris, actuando como diafragma ocular.

El iris presenta una apertura en su parte central, que se denomina pupila, y forma la barrera entre las cámaras anterior y posterior del glóbulo ocular y, por tanto, se encuentra situado entre la córnea y el cristalino.

El cristalino se encuentra en el interior del globo ocular. Se trata de una lente biconvexa transparente, avascular y carente de nervios. El cristalino sirve de frontera entre la cámara vítrea (rellena del humor vítreo) y las cámaras anterior y posterior (rellenas de humor acuoso).

Figura 1: Estructura anatómica del Ojo



Por último, la parte del globo ocular que se encuentra en contacto con el exterior, córnea y parte de la esclerótica, se encuentra a su vez protegida por los párpados y por segregaciones de las glándulas lagrimales.

Potencialidad del Iris para Identificación

Vista la anatomía del ojo y centrandolo en el análisis en la localización del iris dentro de dicho órgano, se concluye que el iris es un tejido pigmentado de alta movilidad y que se encuentra visible desde el exterior, debido a la transparencia de la córnea, y gracias a ésta, perfectamente protegido de agentes externos. Todo esto confiere al iris las siguientes características, desde el punto de vista de su potencial aplicación a la identificación biométrica:

- Estabilidad frente a cambios originados por accidentes, debido a la protección que le confiere la córnea.
- Fácil mecanismo de detección de «sujeto vivo». Pequeñas variaciones en la iluminación producen alteraciones en la apertura de la pupila. Incluso, con iluminación fija, el iris no se encuentra estático, sino que presenta pequeñas y continuas variaciones en su apertura.
- Los datos (en este caso, la imagen) se pueden capturar de forma no invasiva, al ser visible desde el exterior por la transparencia de la córnea.
- El intento de falsificar el iris de una persona conllevaría operaciones quirúrgicas que podrían dañar muy seriamente la visión.

Todas estas características son, sin duda, muy importantes a la hora de estudiar la viabilidad de esta técnica. Sin embargo falta la característica fundamental: la unicidad. Basándose en diversos estudios recogidos en [Dau93], en el patrón visual del iris hay más información que identifica unívocamente a una persona, que en una huella dactilar. De hecho, los dos ojos de una persona poseen patrones distintos, siendo ésta una característica muy importante que tiene que ser considerada en el sistema al no ser la imagen de los dos ojos intercambiables. Estudios más detallados han llevado a la conclusión de que incluso los hermanos gemelos poseen patrones de iris bien diferenciados. De todo esto se puede concluir que esta técnica presenta una unicidad extremadamente alta, lo que llevaría a unas tasas de falsa aceptación nulas, garantizando, por tanto, su viabilidad para ser utilizada en identificación en entornos de alta seguridad.

Evolución de la Técnica

Los tres «padres» de esta técnica, Flom, Safir y Daugman, fundaron IriScan Corp. (<http://www.iriscan.com>), empresa que tendría en su poder la patente y que se encargaría de licenciarla a otras compañías, tales como integradores de sistemas y desarrolladores que quieran explotar productos de reconocimiento basados en iris. A partir de ahí, la evolución ha venido marcada por los progresos de dos empresas, la propia IriScan y uno de sus primeros licenciados, Sensor Corp. (<http://www.sensor.com>).

Esta última empresa lanzó al mercado una cámara especial para adquirir las imágenes de iris en los cajeros automáticos y consiguió vender su producto a la multinacional NCR, la cual integraría esta solución en su línea comercial de cajeros automáticos bancarios. Actualmente, el producto de NCR está siendo experimentado por distintas entidades financieras. En España, Argentaria (<http://www.argentaria.es>) adquirió dos unidades con el propósito de ponerlas a prueba en breve.

SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN

Tal y como ya se expuso en el número 39 (abril de 2000) de esta misma revista ([San00a]), un sistema de Identificación Biométrica consta de cuatro etapas principales:

1. Captura de los datos biológicos (o de comportamiento).
2. Preprocesado de los datos capturados (para adaptarlos al siguiente bloque).
3. Extracción de características propias del usuario.
4. Verificación (comparación) de las características extraídas, con el patrón previamente almacenado.

En este apartado, se cubrirán estas cuatro etapas, cada una de ellas en una sección diferente.

Captura de la Imagen

Este bloque plasma las mayores diferencias entre los sistemas desarrollados con esta técnica. Así como el autor de este artículo ha utilizado para su prototipo una cámara digital de alta resolución con captura manual de cada una de las muestras, los sistemas comerciales existentes han desarrollado sofisticados métodos de captura (tal y como se puede ver en la Figura 2).

El más complejo de todos los sistemas es el mostrado en la Figura 2.a, ya que utiliza un sistema de triple cámara (dos de ellas para localizar el ojo dentro de la imagen y la tercera para capturar la muestra del usuario). Este sistema es el que está pensado para Cajeros Automáticos y, por tanto, es el que incorpora NCR en sus equipos ([Neg00]). El alto coste de este sistema llevó a que, tanto IriScan, como Sensor, buscaran soluciones para poder incorporar el reconocimiento en controles de acceso convencionales (Figura 2.e) y en identificación de usuarios en un PC (Figuras 2.b, 2.c, 2.d). Se espera que en un futuro próximo la reducción de coste y el rendimiento de estos sistemas hagan viable su implantación masiva.

Desde un punto de vista técnico, la captura se basa en obtener un cuadro de la secuencia grabada, en la que se obtenga una imagen del iris clara y de una resolución aceptable. La detección del fraude (por presentación, por ejemplo, de una foto o de un ojo de plástico con el iris pintado) se puede realizar de forma sencilla capturando dos fotogramas consecutivos de la imagen grabada, y comparando que la dilatación de la pupila es distinta (también se pueden forzar cambios controlados de la iluminación para analizar la respuesta de la pupila a dichos cambios).

Un parámetro a tener muy en cuenta a la hora de diseñar un sistema de captura es, aparte de la calidad de la imagen obtenida, la comodidad del usuario, ya que si el sistema de captura tiene que acercarse mucho al ojo, esto puede producir un rechazo por parte de los usuarios, con el consiguiente fracaso del sistema biométrico. Por tanto es necesario utilizar la óptica necesaria para facilitar la ampliación (zoom) de la imagen a capturar.

Con todo esto se obtiene una imagen lista para ser utilizada en la siguiente etapa del sistema biométrico, tal y como se puede ver en la Figura 3.a.

Pre-procesado del Iris

La etapa de pre-procesado toma una gran importancia en esta técnica, ya que la labor de adaptar la señal a los requisitos del bloque de extracción de características va a conllevar:

- La localización del iris dentro de la imagen.
- La detección de los bordes del iris. En este caso hay que



Figura 2: Sistemas comerciales de captura de iris: a) Sistema para cajeros (Sensor); b) y c) Sistemas para PCs (Sensor); d) Sistema para PC (IriScan); e) Control de Accesos (IriScan).

tratar con dos bordes: el exterior (frontera con la esclerótica) y el interior (límite de la pupila).

- Eliminación de las partes de la imagen no deseadas.

- Compensación del tamaño del iris, debido a la distancia del sujeto respecto al objetivo, y de la dilatación o contracción de la pupila.

El primer paso en el pre-procesado, teniendo en cuenta las características de las imágenes capturadas, es una conversión a blanco y negro, seguido de un estiramiento del histograma ([Jai89]). Una vez realizada esta operación, se procederá a la detección de los bordes del iris. Esto se realizará mediante un algoritmo iterativo de búsqueda del máximo gradiente de intensidad a lo largo de una circunferencia (aprovechando la geometría circular del iris). El centro de dicha circunferencia, así como su radio, irán variando de forma que se recorra gran parte de la superficie de la imagen, obteniendo así el máximo.

Es preciso destacar que, debido a que normalmente una persona tiene los párpados algo cerrados, los sectores superior e inferior del iris, no se podrán calcular con nitidez. De esta forma, se trabajará sólo sobre los sectores izquierdo y derecho.

Aprovechando el alto contraste entre la esclerótica y el iris, primero se detectará el borde externo (Figura 3.b) para, posteriormente, una vez aislado el iris de todos los objetos exteriores a él, centrar la búsqueda del borde interno (el de la pupila) en una zona central de la imagen obtenida anteriormente (Figura 3.c).

Es interesante hacer notar que, contrario a lo que todo el mundo piensa, la pupila y el iris no son concéntricos, por lo que hay que volver a realizar una nueva búsqueda del centro. El resultado de esta nueva búsqueda es el centro de la pupila, el radio de ésta y su situación dentro del borde externo del iris, obteniendo la imagen que se muestra en la Figura 3.d.

Una vez aislado el iris de toda la imagen, hay que considerar las variaciones debidas al tamaño del mismo y a la dilatación de la pupila. Para simplificar el algoritmo de extracción de características, se va a realizar una transformación de forma que en los datos que se le van a pasar a la etapa de extracción:

- estén suprimidos los sectores superior e inferior;
- el tamaño de los datos sea el mismo, independientemente del tamaño del iris y de la pupila.

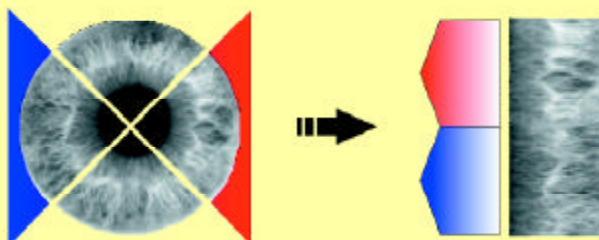


Figura 4: Transformación efectuada al Iris aislado

Para la consecución de estos objetivos, se realiza un muestreo, tanto en radio como en ángulo, de la imagen del iris obtenida anteriormente. De una forma visual, la transformación realizada se ilustra en la Figura 4, donde se puede observar cómo cada uno de los sectores laterales, mediante muestreo de radio y ángulo, se convierte en una imagen cuadrada, en la que sus columnas indicarán fracciones del radio, mientras que las filas serán incrementos de ángulo. Concatenando ambas imágenes, se obtiene la matriz rectangular que se utilizará en la siguiente etapa.

Debido a que el muestreo se realiza en función de la separación entre el borde externo y el borde interno, siempre se

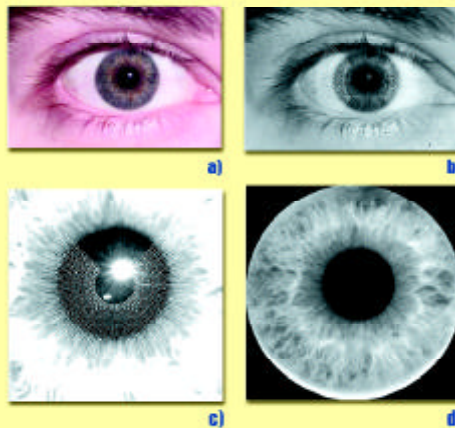


Figura 3: Distintas etapas en el pre-procesado: a) Imagen original; b) Detección de borde externo; c) Detección de borde interno; d) Iris aislado resultante

elige el mismo número de puntos y, por tanto, la matriz resultante será siempre del mismo tamaño, lo cual facilitará el tratamiento del siguiente bloque.

Extracción de Características

Una vez realizado el pre-procesado de la imagen, se entra en el bloque de extracción de características. Es en esta etapa donde están apareciendo las principales discrepancias entre las líneas de investigación que se encuentran abiertas en la actualidad. Mientras que unos siguen las ideas introducidas por Daugman (y que se comentarán a continuación), otros utilizan filtrado mediante Wavelets, y otros una representación de cruces por cero de la transformada ondicular en coronas del iris próximas a la pupila (eliminando por tanto, la transformación última realizada en el bloque de pre-procesado).

Daugman ([Dau93]) propone el uso de una ponderación de secciones de la imagen resultante, por la parte imaginaria de un filtro de Gabor. Es decir, se divide la imagen en un determinado número de secciones (las cuales pueden, o no, estar solapadas entre sí), y a cada una de esas secciones se le aplica:

$$c(i, j) = S(i, j) \cdot \text{Im}[g(x, y, \phi_k, \lambda)]$$

siendo $c(i,j)$ el coeficiente resultante de la ponderación para la sección $S(i,j)$ de la imagen de entrada al bloque de extracción, y $g()$ el filtro de Gabor, el cual viene dado por la siguiente expresión:

$$g(x, y, \phi_k, \lambda) = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x \cos \phi_k + y \sin \phi_k)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(-x \sin \phi_k + y \cos \phi_k)^2}{\sigma_y^2}\right]\right\} \cdot \exp\left\{\frac{2\pi(x \cos \phi_k + y \sin \phi_k)^2}{\lambda} j\right\}$$

donde j_k es la orientación, l es la escala y σ_x y σ_y son los parámetros de dispersión de la envolvente del filtro para las coordenadas x e y respectivamente.

El número de escalas, de orientaciones y de secciones, marcan el tamaño del vector de características y la fiabilidad de los coeficientes $c(i,j)$ resultantes, respecto a las propiedades únicas del sujeto ([San99a]).

Algoritmo de Verificación

Tal y como se puede intuir, las etapas de pre-procesado y de extracción de características involucran un coste computacional muy elevado. Sin embargo, ese coste conlleva que los datos que le lleguen al bloque de verificación sean tan sencillos que los cálculos involucrados resulten, prácticamente, despreciables.

En concreto, Daugman propone discriminar los coeficientes entre positivos y negativos, asignando un '1' a los positivos (o nulos) y un '0' a los negativos. Con la secuencia de bits conseguida, se aplica una Distancia de Hamming para obtener la distancia entre el patrón, previamente almacenado, y la muestra a verificar.

La Distancia de Hamming ([San00b]) es, simplemente, una medida de los bits que son distintos, por lo que la operación es realizar un XOR entre los vectores y contar el número de bits que son '1'.

Con el esquema presentado de esta técnica biométrica, Daugman mostró unos resultados más que satisfactorios, corroborando todos y cada uno de los puntos fuertes que podía mostrar esta técnica: prácticamente tasa nula de Falsa Aceptación (FAR), muy bajas tasas de Falso Rechazo (FRR), discriminación entre hermanos gemelos y entre ojos de un mismo usuario, etc.

RESULTADOS OBTENIDOS

El autor, dentro del Grupo Universitario de Tarjeta Inteligente del departamento de Tecnología Fotónica de la E.T.S.I. de Telecomunicación de Madrid, ha desarrollado varias técnicas biométricas ([San99b]), entre ellas un prototipo para el reconocimiento por iris partiendo de las ideas expuestas por Daugman.

En el prototipo de referencia, la captura se ha realizado mediante una cámara fotográfica digital de alta resolución, con un zoom acoplado para facilitar la toma de datos a los usuarios. El pre-procesado ha sido tal y como ya se ha mencionado, mientras que la extracción de características se ha realizado mediante una ponderación por Gabor a una única escala y 4 orientaciones distintas, con diferentes configuraciones de las secciones tomadas. De esta forma se pueden ver en la siguiente tabla cuatro dimensiones diferentes del vector de características:

Dimensión (en bits)	Muestreo del ángulo	Solapamiento en x	Solapamiento en y
256	1	0	0
512	0,5	0	0
992	1	0	50%
1860	1	50%	50%

Tabla 1: Diferentes configuraciones de los vectores de características

IV

Con estas configuraciones y utilizando la Distancia de Hamming, los resultados obtenidos en autenticación se pueden observar en la Figura 5. Estos resultados se han conseguido reclutando a los usuarios con una única foto, lo cual aumenta la satisfacción de éstos al no tener que asistir al reclutamiento durante un tiempo elevado. Además, a cada usuario se le tomaron fotos de los dos ojos, de forma que se consideraran como dos usuarios distintos, comprobándose la afirmación de que cada iris de un mismo usuario tiene características únicas.

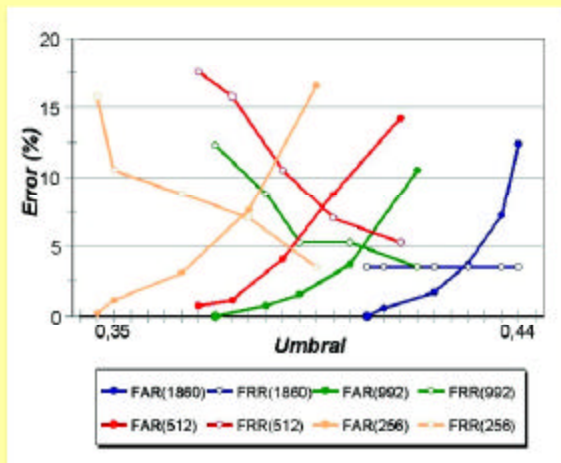


Figura 5: Resultados obtenidos en Autenticación

Lo primero que se observa es que la EER (tasa de Igual Error, es decir cuando la FAR y la FRR son iguales) siempre se encuentra por debajo del 10% y en los casos de solapamiento, por debajo del 5%. Sin embargo, el mejor resultado que se puede mostrar es la viabilidad de crear sistemas de muy alta seguridad, en los que la FAR sea nula, con unos valores de FRR aceptables. Esto se puede observar, principalmente, en los dos casos de solapamiento, donde para obtener una FAR nula, la FRR puede estar por debajo del 15%.

En particular, el caso de 1860 bits, presenta unas gráficas de error muy próximas entre sí, con un FRR prácticamente constante y por debajo del 5%. Su EER es del 3,6%, y para una FAR nula, el valor de su FRR es solamente de 3,51%.

CONCLUSIONES

En este artículo se ha analizado la técnica de Autenticación Biométrica mediante el Patrón del Iris, además de explicar el desarrollo realizado por el autor. Los resultados mostrados son más que satisfactorios, consiguiendo un sistema potencialmente utilizable en entornos de muy alta seguridad, tal y como se realiza en la actualidad en los sistemas comerciales.

Esta técnica se ha mostrado muy fiable y cómoda para el usuario. Sin embargo presenta como principales inconvenientes el coste económico de sus sistemas de captura, así como el alto coste computacional de las etapas de pre-procesado y extracción de características.

Se espera que en un futuro esta técnica biométrica elimine los inconvenientes mencionados y se pueda favorecer su implantación comercial a gran escala.

Agradecimientos

El autor quiere agradecer D^a. Carmen Sánchez Ávila, su inestimable ayuda para la consecución de los resultados que se reflejan en este artículo.

También se quiere agradecer a todos aquellos usuarios que se han prestado «voluntarios» para formar parte de la Base de Datos utilizada.

Estos trabajos han sido posibles gracias a la financiación del Plan Nacional de I+D, bajo el proyecto titulado «Transacciones Seguras a través de Internet: Autenticación Biométrica de Usuarios», y cuyo código es TIC98-1195.

✍ Raúl Sánchez Reillo
 Grupo Universitario de Tarjeta Inteligente
 Dpto. Tecnología Fotónica
 E.T.S.I. Telecomunicación (U.P.M.)
 reillo@tfo.upm.es

REFERENCIAS

- [Dau93] J. G. Daugman. «High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence». IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 15, nº 11. Noviembre 1993. pp. 1148-1161.
- [Jai89] A. K. Jain. *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice Hall, 1989.
- [Jai99] A. K. Jain, R. Bolle, S. Pankanti, et al. *Biometrics: Personal Identification in Networked Society*. Kluwer Academic Publishers. EE.UU. 1999.
- [Neg00] M. Negin, T. A. Chmielewski Jr., M. Salganicoff, T. A. Camus, U. M. Cahn von Seelen, P. L. Venetianer, G. G. Zhang. «An Iris Biometric System for Public and Personal Use». Computer, IEEE Press, vol. 33, nº 2. Febrero 2000. pp. 70-75.
- [San99a] R. Sanchez-Reillo, C. Sanchez-Avila, J.A. Martin-Pereda. «Minimal Template Size for Iris-Recognition». Proc. of the First Joint BMES/EMBS Conference. Atlanta (EE.UU.), 13-16 Octubre, 1999. p. 972
- [San99b] R. Sanchez-Reillo, C. Sanchez-Avila, A. Gonzalez-Marcos. «Multiresolution Analysis and Geometric Measure for Biometric Identification». *Secure Networking - CQRE [Secure] '99*. Noviembre/Diciembre, 1999. Lecture Notes in Computer Science 1740, pp. 251-258. Springer-Verlag.
- [San00a] R. Sánchez Reillo. «Identificación biométrica y su unión con las tarjetas inteligentes». Revista SIC Seguridad en Informática y Comunicaciones, nº 39, abril 2000, págs I-IV
- [San00b] R. Sánchez Reillo. «Mecanismos de Autenticación Biométrica mediante Tarjeta Inteligente». Tesis Doctoral de la E.T.S.I. de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid. 2000.
- [Wil97] R. P. Wildes. «Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology». Proceedings of the IEEE, vol. 85, nº 9, Septiembre 1997. pp. 1348-1363.