

Reconocimiento de las personas por el iris

Francesc Serratosa

PID_00195452



Los textos e imágenes publicados en esta obra están sujetos –excepto que se indique lo contrario– a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 España de Creative Commons. Podéis copiarlos, distribuirlos y transmitirlos públicamente siempre que citéis el autor y la fuente (FUOC. Fundació para la Universitat Oberta de Catalunya), no hagáis de ellos un uso comercial y ni obra derivada. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.es>

Índice

Introducción.....	5
Objetivos.....	6
1. Anatomía del iris.....	7
2. Historia de la biometría basada en el iris.....	8
3. El método de Daugman.....	9
4. Obtención de la imagen del ojo.....	11
5. La localización del iris.....	12
6. Normalización de la región del iris.....	15
7. Generación del código del iris.....	19
8. Comparación de iris.....	21
Resumen.....	23
Actividades.....	25
Abreviaturas.....	27
Bibliografía.....	28

Introducción

En este módulo, vamos a explicar el proceso de comparación de dos iris. Para enmarcar correctamente este proceso, hemos considerado conveniente explicar primero un poquito la anatomía del ojo (apartado “Anatomía del iris”) y también la corta historia de la biometría aplicada al iris (apartado “Historia de la biometría basada en el iris”). El proceso que explicamos se basa en la patente de Daugman (año 1994). Esto se debe a que la mayoría de los sistemas actuales se basan en esta patente. Solo se están cambiando algunos módulos o algoritmos que han ido mejorando. Así, en el apartado “El método de Daugman” explicamos las etapas del sistema de Daugman y, en el resto de los apartados, explicamos en detalle cada una de las etapas.

Es importante destacar que en los sistemas basados en el iris no se suele aplicar un sistema de clasificación como se hace en las huellas dactilares.

Finalmente, Daugman usa los filtros de Gabor para generar el registro que representa al iris. Este registro es el que se emplea para establecer las comparaciones.

Reflexión

No hemos querido entrar en detalle en la técnica de los filtros de Gabor, ya que está ampliamente explicada en varios libros.

Objetivos

Los objetivos básicos de este módulo son los siguientes:

- 1.** Conocer las etapas que hay en el proceso de comparación de dos iris.
- 2.** Conocer las técnicas de la visión por computador aplicadas a la extracción de las características principales del iris.
- 3.** Representar un iris en un registro de una base de datos.
- 4.** Comparar dos iris.

1. Anatomía del iris

El **iris** es un anillo de tejido de color ubicado alrededor de la **pupila**, que es por donde entra la luz hacia el interior del ojo.

Normalmente, la pupila tiene una apariencia más oscura que el iris y esta característica nos será útil para localizar el iris. Una cubierta transparente llamada **córnea** cubre la pupila y el iris. La córnea genera reflejos de luz, este hecho dificulta la adquisición de imágenes del iris pero también puede ayudarnos a localizarlo. La finalidad del iris es controlar la cantidad de luz que entra dentro del ojo y tiene dos músculos que sirven para dilatarlo o contraerlo. La deformación del iris depende de la cantidad de luz. Esta deformación también es un problema para la extracción de características invariantes a agentes externos. Pero, por otro lado, nos puede servir para saber si el ojo está vivo. La **esclerótica** es una región blanca con vasos sanguíneos que rodea al iris. La frontera interior del iris (entre el iris y la pupila) se denomina **frontera pupilar**. Y la frontera exterior del iris (entre el iris y la esclerótica) se denomina **frontera límbica**. Uno de los pasos iniciales para la comparación de iris es la localización de estas fronteras. La figura 1 muestra la imagen de un ojo captada por un sistema de reconocimiento para el iris.

La superficie del iris contiene un patrón muy rico de surcos, contornos y pecas de pigmento. Este patrón es el que sirve para generar una identificación que tendría que ser única e invariable. Se cree que este patrón se determina de forma aleatoria durante el desarrollo fetal del ojo. Se considera que es diferente para todas las personas y también entre el ojo izquierdo y el derecho de la misma persona. El color del iris varía según la cantidad de pigmento que tenga. Normalmente, aumenta durante la infancia. No obstante, durante una gran parte del periodo de vida de las personas, la apariencia del iris es relativamente estable.

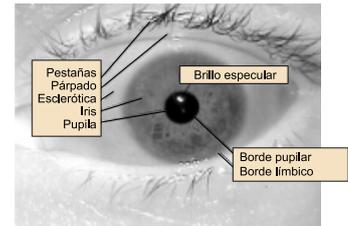


Figura 1. Imagen de un ojo con sus partes principales

2. Historia de la biometría basada en el iris

En el reconocimiento de las personas por las huellas dactilares, podemos hablar de una historia de sistemas no automatizados y una historia de sistemas automatizados. En cambio, y debido al corto periodo de existencia del reconocimiento por el iris, solo hay historia de sistemas automatizados. A pesar de todo, dentro de esta corta historia se distinguen dos periodos y el punto de paso del uno al otro son los trágicos acontecimientos de septiembre del 2001. A partir de esa fecha, el número de artículos, patentes e inversiones económicas dedicadas a esta biometría se ha ampliado considerablemente.

En 1987, **Flom** y **Safir** obtuvieron una patente por un diseño no implementado para el reconocimiento del iris. Su descripción exigía condiciones muy controladas, por ejemplo describe la existencia de un reposacabezas, de un punto donde el usuario tiene que mirar así como un operario que ayudaba al usuario. Cinco años más tarde, en 1992 **Johnston** publicó una investigación sobre la viabilidad de la biometría del iris llevada a cabo en el Laboratorio Nacional de Los Álamos. Las imágenes de los iris fueron adquiridas de 650 personas y durante quince meses. En este experimento, se resaltó la dificultad de adquirir imágenes con calidad debido a los reflejos de la córnea. Finalmente, se llega a la conclusión de que la biometría del iris tiene un gran potencial tanto en la verificación como en el reconocimiento aunque no se muestran resultados experimentales.

El trabajo más importante presentado en este primer periodo de la historia del reconocimiento del iris es la **patente de Daugman**, presentada en 1994. En esta patente, se describe un sistema de reconocimiento con bastante detalle. Y el sistema que describe ha marcado todos los sistemas que se han ido desarrollando posteriormente puesto que ha marcado un modelo estándar. Debido a que esta patente se mantuvo durante un tiempo por la misma empresa, se puede asegurar que la mayoría de los sistemas actuales se basan en la tecnología de Daugman.

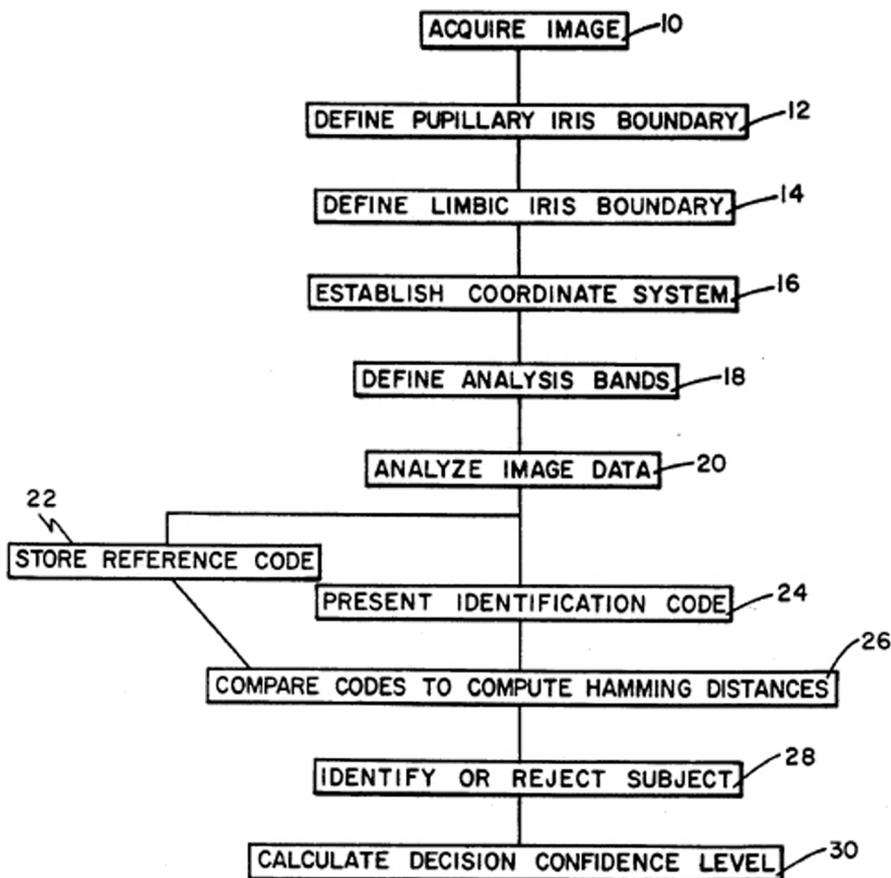
3. El método de Daugman

El método de Daugman describe un proceso con los pasos siguientes:

- 1) obtención de la imagen,
- 2) localización del iris,
- 3) normalización de la imagen del iris,
- 4) generación del código del iris, y
- 5) comparación.

La figura 2 muestra el esquema principal del sistema de Daugman.

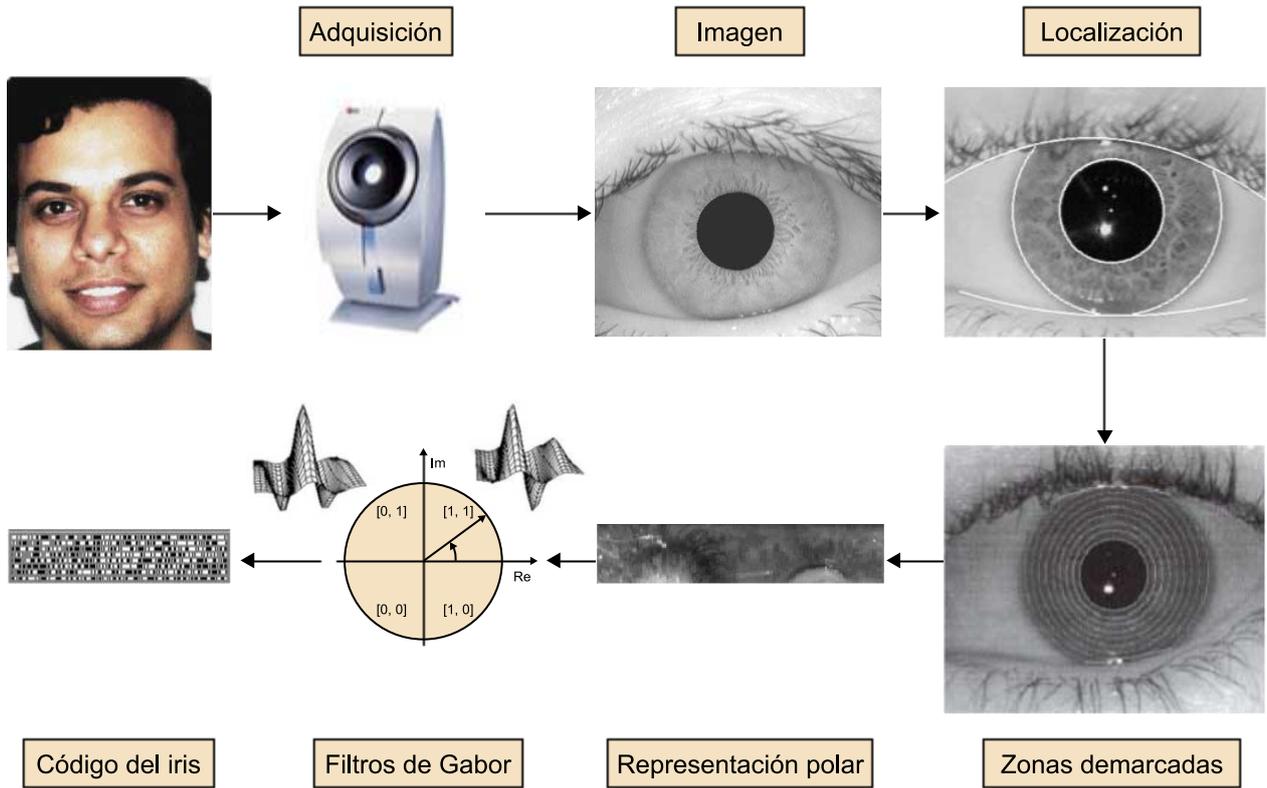
Figura 2. Esquema básico del sistema definido en la patente de Daugman



Fuente: extraída de la patente de Daugman

La figura 3 muestra gráficamente las etapas de este método que ahora pasamos a describir con detalle.

Figura 3. Etapas del sistema de Daugman representadas en imágenes



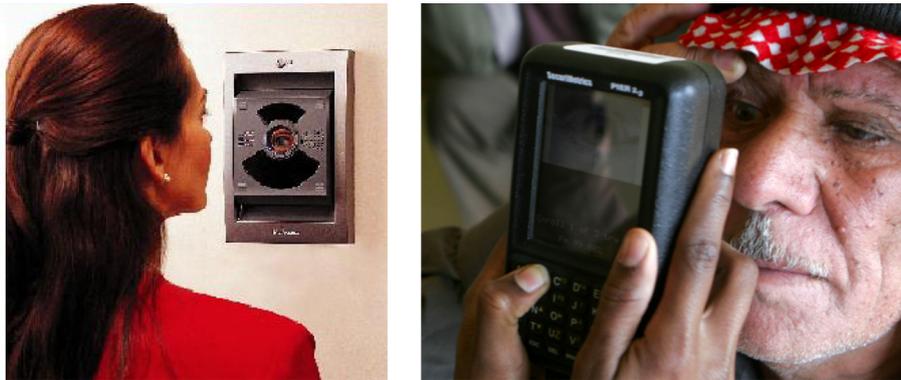
4. Obtención de la imagen del ojo

La **patente de Daugman** (o el método de Daugman) establece que:

“el sistema adquiere a través de una cámara de vídeo una imagen digitalizada de un ojo humano para ser identificado”.

La figura 4 muestra un sistema de adquisición del iris fijo y uno móvil.

Figura 4. Sistema de adquisición del iris fijo y móvil



La patente también establece que la imagen adquirida debe tener una iluminación cerca de la luz infrarroja (algo más de $0,74 \mu\text{m}$). Esto se debe a que así la luz se puede controlar con más facilidad puesto que los focos de luz visible o bombillas generan poca luz a esta frecuencia. La luz visible tiene una longitud de onda inferior (de $0,38 \mu\text{m}$ a $0,74 \mu\text{m}$). Además, debido a que el ojo humano no ve estas longitudes de onda tan altas, el usuario no tiene la sensación de que lo están iluminando y es menos intrusivo. También se ha visto que la iluminación infrarroja ayuda a desvelar la estructura de los iris muy pigmentados (iris casi negros) puesto que el pigmento de melanina absorbe la luz visible (por eso vemos el iris de color negro) pero refleja más las frecuencias con longitud de onda alta.

El sistema de Daugman pide que los usuarios coloquen el ojo dentro del campo de visión de la cámara. También concreta que el foco de la cámara se encuentra automáticamente y en tiempo real. El **método de enfoque**, que es el más usado actualmente en todas las cámaras, se basa en el proceso siguiente: se va cambiando el foco de la cámara y en cada posición del foco se calcula la energía a frecuencias altas (se usa la técnica de la transformada rápida de Fourier bidimensional, 2D-FFT). Una imagen muy enfocada es aquella en la que se ven los detalles con claridad, esto quiere decir que la energía a frecuencias altas es grande. Por lo tanto, el foco se para en la posición donde ha aparecido la máxima energía a frecuencias altas.

5. La localización del iris

Una vez hemos captado la imagen del ojo (fijaos en que decimos imagen del ojo y no imagen de la cara), el siguiente paso es encontrar la parte de la imagen que corresponde al iris. Los primeros trabajos de Daugman aproximan las fronteras del iris (límbico y pupilar) por un círculo. Esto quiere decir que supone que el iris es completamente redondo. De este modo, la frontera se describe solo por dos parámetros: el **radio** y la **posición bidimensional del centro del radio**.

Para encontrar estos dos parámetros de la frontera, Daugman propone rastrear toda la imagen con unos operadores circulares variando el valor del radio. Este método se basa en convolucionar una máscara para toda la imagen. Primero se localiza el radio menor (radio pupilar) y, una vez lo tenemos fijado, se localiza el radio mayor (radio límbico).

Para detectar el **radio pupilar**, la máscara es una imagen cuadrada tal como muestra la figura 5, donde el negro representa $W_i = -1$ y el valor blanco representa $W_i = +1$. Un píxel cualquiera de la máscara se representa como W_i . Esta máscara se recorre por toda la imagen y, además, se van haciendo varias pasadas que van agrandando el radio que separa los píxeles negros de los píxeles blancos. Denominaremos C_1 a la imagen resultante de convolucionar la imagen del iris I con la máscara representada en la figura 5 con dimensiones $l \times l$ que denominamos W_l . La imagen C_1 tiene las mismas dimensiones que la imagen del iris I .

En una imagen del ojo monocromática (nivel de grises), la pupila se visualiza más negra (valor bajo de los píxeles), el iris se visualiza gris (valor medio de los píxeles) y la esclerótica se visualiza blanca (valor alto de los píxeles). Cuando el contorno del círculo coincide con el radio pupilar (entre la pupila y el iris) entonces $C_1[x, y]$ toma un valor alto puesto que todos los pesos $W_i = -1$ se multiplican por valores bajos y los pesos $W_i = +1$ se multiplican por valores medios. Decidimos que el radio pupilar y el centro de la pupila es el radio actual de la máscara y la posición de la máscara cuando $C_1[x, y]$ ha tomado el valor máximo para todas las combinaciones de l .

Una vez ya hemos decidido cuál es el radio pupilar así como el centro de la pupila, entonces solo nos queda localizar el radio límbico (entre el iris y la esclerótica). En este caso, vamos a aplicar una máscara como muestra la figura 6, que denominamos Y_p , donde (igual que en la máscara anterior) el negro

Ved también

La técnica de la patente de Daugman ya la usamos para obtener el gradiente horizontal y vertical de las huellas dactilares en el módulo "Reconocimiento de las personas por la huella dactilar" de esta asignatura.

Ved también

Ved la obtención del gradiente horizontal y vertical en el subapartado 3.1.1 del módulo "Reconocimiento de las personas por la huella dactilar" de esta asignatura.

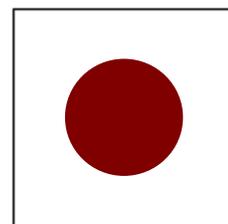


Figura 5. Representación de la máscara para detectar el radio pupilar del iris

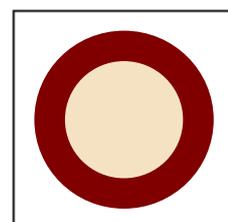


Figura 6. Representación de la máscara para detectar la frontera límbica

representa $Y_i = -1$ y el valor blanco representa $Y_i = +1$. Y además, el valor gris representa $Y_i = 0$. Usamos la misma nomenclatura que antes, donde Y_i representa un píxel cualquiera de la máscara.

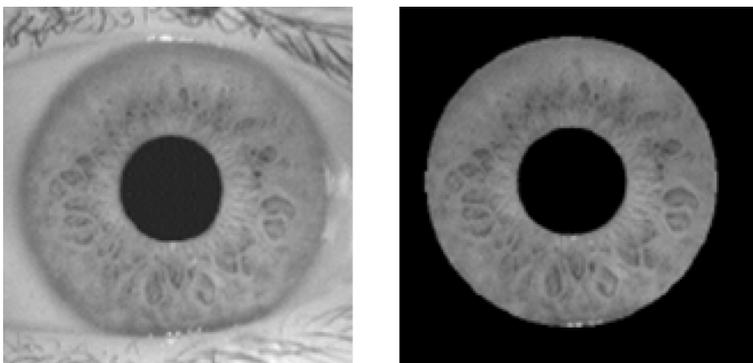
Notad que ahora ya no es necesario recorrer toda la imagen del ojo debido a que ya tenemos localizado el centro de la pupila (que asumimos que es el mismo que el centro del iris). Tampoco nos hace falta modificar el radio interior que acabamos de encontrar. Es decir, que en esta segunda fase solo iremos ampliando el radio mayor de la máscara, que denominamos p (que separa el nivel de negros del de blancos), y lo mantenemos centrado en el centro de la pupila. Además, el radio interior de la máscara (que separa el nivel de grises del de negros) también se mantiene fijo, es el radio pupilar acabado de encontrar.

El **radio límbico** se define como el radio mayor de la máscara cuando el valor $C_p[x, y]$ es máximo.

La principal restricción de este sistema es asumir que la pupila y el iris son completamente circulares y que comparten el centro de la circunferencia. Aunque en el aspecto visual las pupilas y los iris parecen muy circulares, en cuanto al píxel de la imagen no es cierto. Además, este método suele tener dificultades a la hora de obtener posiciones y radios no muy exactos cuando hay oclusiones parciales del iris por parte de los párpados o pestañas. La primera mejora puede ser no asumir que el punto central de la pupila y del iris es el mismo. En este caso, implica que, a la hora de decidir el radio mayor, también podemos desplazar la nueva máscara alrededor del centro encontrado antes. Fijaos en que el proceso sigue siendo bastante rápido porque solo permitiremos un cierto desplazamiento entre centros y no tendremos que volver a recorrer toda la imagen como en el primer paso.

En la figura 7, se muestra a la derecha un ojo y a la izquierda el mismo ojo donde se ha seleccionado la zona donde hay iris.

Figura 7. Imagen de un ojo y la misma imagen donde se ha podido segmentar el iris



Las nuevas técnicas modelan la pupila y el iris con plantillas deformables. Así, son capaces de captar no solo la no circularidad, sino también las oclusiones de las pestañas o los párpados.

Reflexión

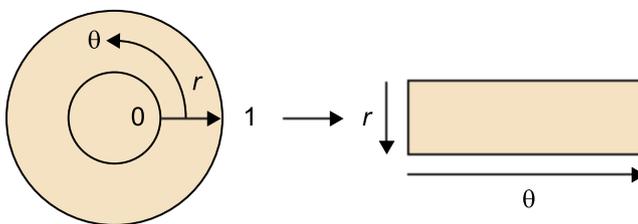
La explicación de este modelo excede los objetivos de este material.

6. Normalización de la región del iris

Una vez hemos aislado la zona de la imagen (normalmente se denomina región) donde en los píxeles hay iris, el siguiente paso es describir las características del iris de modo que facilite la comparación de estos. La primera dificultad reside en el hecho de que no todas las regiones del iris tienen las mismas dimensiones. La distancia entre la cámara y el ojo afecta a las dimensiones de esta región y el usuario nunca se pondrá dos veces exactamente a la misma distancia. Por otro lado, los cambios en la iluminación hacen que el iris se dilate o se contraiga. Por eso, aunque el usuario esté exactamente a la misma distancia, puede ser que tenga el iris algo más grande y ocupe más espacio en la imagen. Este problema se soluciona (o se minimiza) trasladando la región donde está el iris a un espacio bidimensional normalizado.

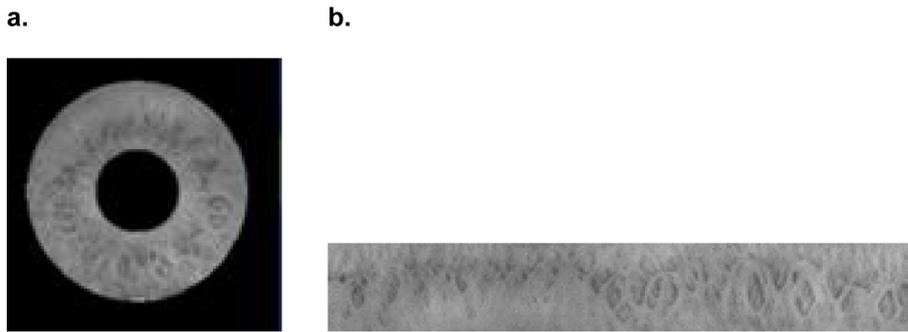
Para llevar a cabo esta normalización, lo primero que haremos es definir la región del iris en un espacio de coordenadas polares. Cada píxel en ese espacio, en lugar de definirlo con el sistema de coordenadas clásico (x, y) , se define en un sistema (r, α) . Donde r representa el radio desde el centro de la pupila y α es el ángulo (asumiendo que el ángulo 0 es la horizontal). Ved la figura 8.

Figura 8. Transformación de la imagen del iris en un sistema de coordenadas polar



Una vez hemos definido los píxeles en este nuevo espacio, los podremos trasladar al espacio normalizado. Este nuevo espacio es rectangular donde el eje vertical representa el radio r y el eje horizontal representa el ángulo α . Si suponemos que la coordenada $(0, 0)$ es la esquina izquierda superior, entonces, en esta representación, la frontera pupilar se encuentra arriba del todo y la frontera límbica se encuentra abajo del todo. Además, la columna más a la derecha y la más a la izquierda son píxeles que se están tocando en la imagen original. La figura 9 muestra una imagen del ojo donde no se ha segmentado el iris y la imagen de la zona del iris pasada a coordenadas polares.

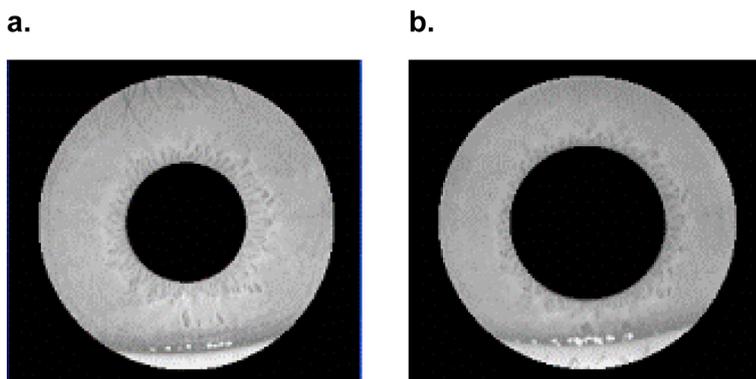
Figura 9.



a. Iris segmentado; b. visualización en coordenadas polares

Para llevar a cabo esta traslación, asumimos que el iris se extiende o se contrae linealmente. Este hecho no es cierto, puesto que la parte más interna del iris es la más dinámica pero se ha comprobado que es una aproximación bastante buena. En la figura 10, se muestra un mismo iris, a la izquierda con iluminación normal y a la derecha con poca iluminación. Observando la textura, podemos comprobar que la zona más interior es la que se ha reducido más cuando el ojo recibe poca luz.

Figura 10. Dos imágenes de un mismo iris



a. con iluminación; b. con poca iluminación

Asumimos que (x_0, y_0) es el centro de coordenadas del iris. Entonces definimos los píxeles de la imagen con el sistema polar de la manera siguiente:

1) El ángulo se calcula como:

$$\alpha = \text{atan2}(y - y_0, x - x_0)$$

La función atan2 calcula el arco tangente de $\frac{y-y_0}{x-x_0}$ pero tiene en cuenta el signo del numerador y del denominador. Así, el ángulo resultante se puede encontrar en los cuatro cuadrantes de la circunferencia, $\alpha \in [\pi, -\pi]$.

2) El radio se calcula de la manera siguiente:

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (1)$$

El radio es un real no negativo $r \in [0, \infty)$.

Una vez hemos definido la imagen con el sistema polar, ahora tenemos que llenar los píxeles de la nueva imagen $V(x', y')$. Entonces, obtenemos estas dos variables x' e y' de la manera siguiente:

1) La coordenada x' se calcula:

$$x' = \frac{(M-1) \cdot (\alpha + \pi)}{2\pi} \quad (2)$$

Imponemos que el rango de esta variable sea $x' \in [0, M-1]$.

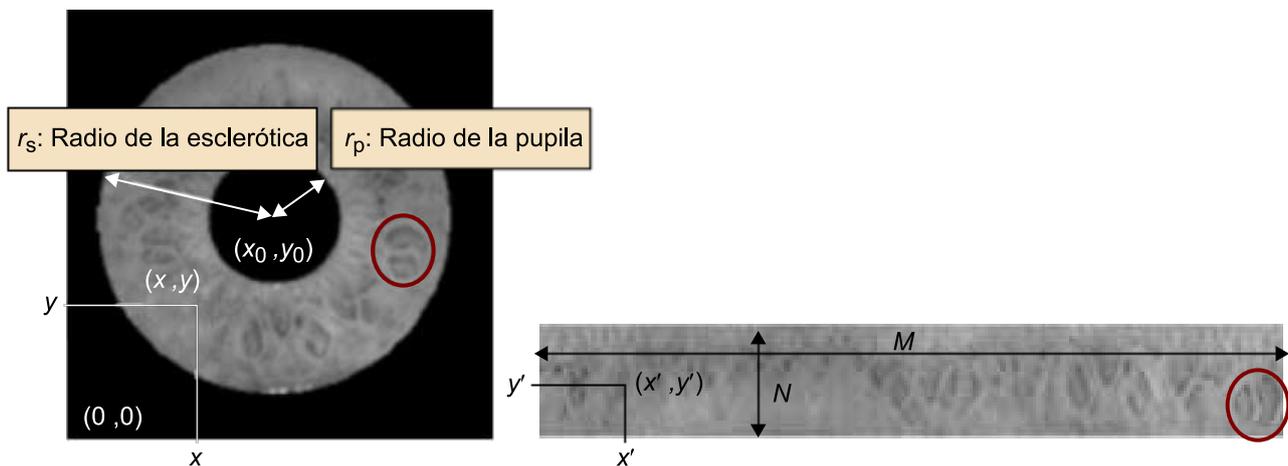
2) La coordenada y' se calcula:

$$y' = \frac{(N-1) \cdot (r - r_p)}{r_s - r_p} \quad (3)$$

Imponemos que el rango de esta variable sea $y' \in [0, N-1]$. El radio pupilar es r_p y el radio límbico es r_s . Suponemos que r_s es mayor que r_p .

La figura 11 muestra en la imagen de la izquierda un iris y las variables necesarias para convertir el sistema en coordenadas polares. En la imagen de la derecha, está el sistema de coordenadas de la nueva imagen. Además, se muestra dentro de un círculo un detalle del iris que aparece en las dos imágenes.

Figura 11. Conversión de las coordenadas polares



Finalmente, para llenar toda la imagen nueva, el algoritmo podría ser el que se presenta a continuación.

algoritmo I de normalización de la región del iris

```

para todos los píxeles de la imagen original (x, y):
  calculamos (r, α)
  si nos encontramos dentro del iris, es decir,  $r_s \leq r \leq r_p$ ,
    entonces calculamos (x', y')
     $V(x', y') = I(x, y)$ 

fin para

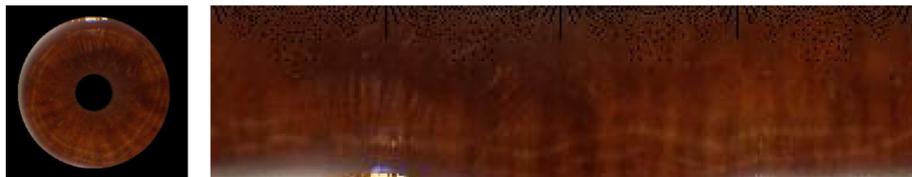
fin algoritmo

```

La figura 12 muestra un iris y la imagen obtenida con este algoritmo. Se puede observar que aparecen unos puntos negros en la parte superior. Esto se debe a que ningún píxel de la imagen original ha ido a parar a estas posiciones de la nueva imagen. Por este motivo, se propone un algoritmo que actúa de manera inversa. En lugar de recorrer todos los píxeles de la imagen original, lo que hace es recorrer todos los píxeles de la imagen nueva y buscar a qué píxeles corresponden de la imagen original.

Figura 12.

a. **b.**



a. Imagen de un iris; b. el mismo iris, pero en coordenadas polares usando el algoritmo directo

El nuevo algoritmo es el que presentamos a continuación.

algoritmo II de normalización de la región del iris

```

para todo x' e y', calcular el ángulo y el radio:

```

$$\alpha = \frac{2\pi x'}{M-1} - \pi.$$

$$r = r_p + \frac{(r_s - r_p) \cdot y'}{N-1}.$$

```

con el ángulo y el radio, calculamos las coordenadas
de la imagen original:

```

$$x = r \cdot \sin(\alpha) + x_0.$$

$$y = r \cdot \cos(\alpha) + y_0.$$

```

llenamos la nueva imagen:  $V(x', y') = I(x, y)$ 

```

```

fin algoritmo

```

7. Generación del código del iris

Una vez llenada la nueva imagen, ahora solo nos queda generar el código que representa el iris. A tal efecto, Daugman usa los valores siguientes para la imagen normalizada: $M = 256$ y $N = 8$. Por este motivo, se dice que el sistema de Daugman genera ocho circunferencias equicéntricas. Estas circunferencias se han dibujado en una de las imágenes de la figura 3. El código tiene exactamente las mismas dimensiones. No obstante, cada píxel no se representa por 8 bits como en las imágenes clásicas monocromáticas sino por solo 2 bits. La figura 13 muestra uno de los bits del código. Cada uno de los dos bits del código de Daugman ocupa $256 \times 8 = 2.048$ bits.

Figura 13. Uno de los bits del código de un iris



$K_1[x, y]$ y $K_2[x, y]$ son el primero y el segundo bit del código en la posición (x, y) . Estos dos bits aparecen de convolucionar un filtro de Gabor con la imagen normalizada. Es decir, que la máscara de convolución es ahora la **función de Gabor**. Debido a que los filtros de Gabor devuelven una función compleja, la convolución (suma de los pesos en las diferentes posiciones de la máscara más una suma final) también es una función compleja. El bit $K_1[x, y]$ representa la parte real y el bit $K_2[x, y]$ representa la parte imaginaria del resultado de la convolución en la posición (x, y) de la manera siguiente:

$$K_1[x, y] = 0 \text{ si } \text{Conv}(x, y, V, \text{Gabor}_{Re}) < 0 \text{ y } K_1[x, y] = 1 \text{ de lo contrario}$$

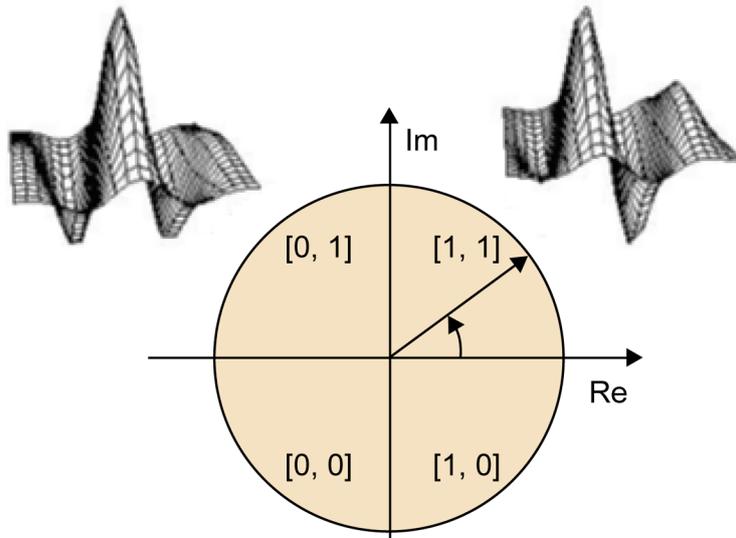
$$K_2[x, y] = 0 \text{ si } \text{Conv}(x, y, V, \text{Gabor}_{Im}) < 0 \text{ y } K_2[x, y] = 1 \text{ de lo contrario}$$

En la figura 14, se visualiza la parte real, Gabor_{Re} , y la imaginaria, Gabor_{Im} , de un filtro de Gabor. También se visualizan los dos bits del código según la fase donde se encuentre el número complejo generado.

Ved también

La máscara de convolución se trata en el módulo "Reconocimiento de las personas por la huella digital" de esta asignatura.

Figura 14. Representación de los dos bits del código de un iris según la parte imaginaria y la parte real del filtro de Gabor



Ahora toca explicar cómo se generan las máscaras que representan la parte real de la función de Gabor y la parte imaginaria de la función de Gabor. Los filtros de Gabor aparecen de multiplicar una función gaussiana con una función sinusoidal.

Para cada uno de los píxeles de las máscaras (x, y) , se obtiene su valor de la manera siguiente:

$$Gabor_{Re}(x, y) = R \cdot \cos(\zeta) \quad \text{y} \quad Gabor_{Im}(x, y) = R \cdot \sin(\zeta) \quad (4)$$

donde

$$R = e^{-\left(\left(\frac{\pi}{2T}x\right)^2 + \left(\frac{\pi}{2T}y\right)^2\right)} \quad \text{y} \quad \zeta = \frac{\pi}{2T}x + \frac{\pi}{2T}y' \quad (5)$$

Estamos suponiendo que si la anchura y la altura de las máscaras es $2T + 1$, entonces las variables x' e y' toman valores enteros dentro del rango $[-T, \dots, -1, 0, 1, \dots, T]$.

Reflexión

No es el objetivo de esta asignatura explicar con detalle los filtros de Gabor, solo deseamos usar esta herramienta matemática.

8. Comparación de iris

Una vez hemos generado los códigos que representan los iris, nos queda el último paso del proceso, que es la comparación de estos códigos. La comparación directa de las imágenes (o imágenes normalizadas), como podría ser la distancia euclídea entre los valores de los píxeles, no aporta demasiados buenos resultados debido a las diferencias de iluminación de las dos imágenes. Por ese motivo, se comparan los códigos y no las imágenes.

Daugman usa la distancia de Hamming para comparar estos códigos. Esta distancia mide la fracción de los bits que son diferentes entre los dos códigos. Dados dos códigos, X e Y de n elementos, la distancia de Hamming se define como:

$$D(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \otimes Y_i \quad (6)$$

El símbolo \otimes representa la o exclusiva, es decir:

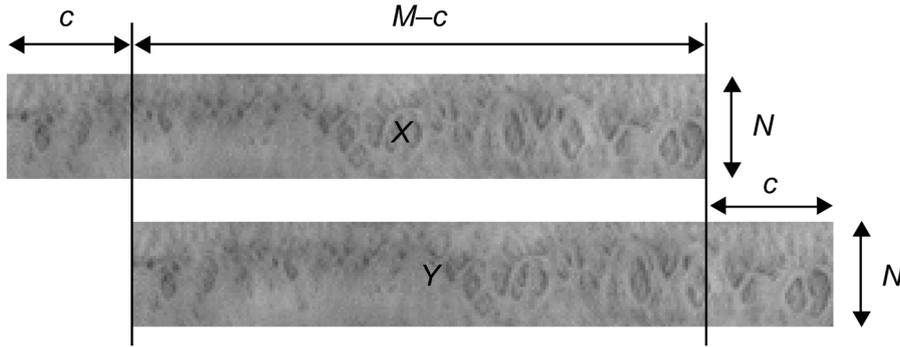
$$X_i \otimes Y_i = 1 \text{ si } X_i = Y_i$$

$$X_i \otimes Y_i = 0 \text{ si } X_i \neq Y_i$$

Si el valor de la distancia de Hamming es bajo entonces los códigos se asemejan.

Si la persona ha inclinado ligeramente la cabeza a la hora de presentarse ante el sistema, entonces la imagen normalizada y el código iris sufren un desplazamiento en las columnas. Las columnas de más a la derecha (o izquierda) tendrían que estar ubicadas en las columnas de más a la izquierda (o derecha). Para tener en cuenta estas posibles orientaciones, se calcula la distancia de Hamming en varias rotaciones. Se considera que la distancia entre los dos códigos es la mínima distancia de las distancias que se han obtenido en las diversas comparaciones. La figura 15 muestra una imagen normalizada dos veces (usamos imágenes en lugar de códigos para que sea más visible). En la superior, no hay rotación y, en la inferior, hay una rotación a la derecha de c columnas. Denominamos a estas dos imágenes X e Y .

Figura 15. El mismo iris representado en forma polar y con dos rotaciones diferentes



La distancia entre estos dos códigos, asumiendo que hay un desplazamiento de c columnas hacia la derecha, por lo tanto $0 \leq c \leq M$, es:

$$D(X, Y, c) = \sqrt{\sum_{x=c}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (X(x, y) - Y(x-c, y))^2 + \sum_{x=0}^{c-1} \sum_{y=0}^{N-1} (X(x, y) - Y(M-c, y))^2} \quad (7)$$

Y si el desplazamiento es hacia la izquierda, $0 > c > -M$, es:

$$D(X, Y, c) = \sqrt{\sum_{x=c}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (X(x, y) - Y(x+c, y))^2 + \sum_{x=0}^{-c-1} \sum_{y=0}^{N-1} (X(x, y) - Y(M+c, y))^2} \quad (8)$$

Finalmente, el algoritmo para calcular la distancia entre dos iris donde el primer iris ha generado los códigos X_{K_1} y X_{K_2} y el segundo iris ha generado los códigos Y_{K_1} y Y_{K_2} es:

algoritmo II de normalización de la región del iris

```

 $D_{min} = \infty$ 
para  $c = 0$  hasta  $M$  con incrementos de 1 calcula
   $D_d(X_{K_1}, Y_{K_1}, c)$  y calcula  $D_d(X_{K_2}, Y_{K_2}, c)$ 
  si  $D_d(X_{K_1}, Y_{K_1}, c) + D_d(X_{K_2}, Y_{K_2}, c) < D_{min}$  entonces
     $D_{min} = D_d(X_{K_1}, Y_{K_1}, c) + D_d(X_{K_2}, Y_{K_2}, c)$ 
fin para

para  $c = -1$  hasta  $-(M + 1)$  con incrementos de 1 calcula
   $D_e(X_{K_1}, Y_{K_1}, c)$  y  $D_e(X_{K_2}, Y_{K_2}, c)$ 
  si  $D_e(X_{K_1}, Y_{K_1}, c) + D_e(X_{K_2}, Y_{K_2}, c) < D_{min}$  entonces
     $D_{min} = D_e(X_{K_1}, Y_{K_1}, c) + D_e(X_{K_2}, Y_{K_2}, c)$ 
fin para

devuelve  $D_{min}$ 

fin algoritmo

```

Resumen

En este módulo, hemos explicado la comparación de dos iris basada en la patente de Daugman. También hemos tratado la anatomía del iris y hemos hecho un breve resumen de la historia de la biometría aplicada al iris.

Actualmente, hay algoritmos y técnicas que obtienen mejores resultados que los explicados en este módulo. No obstante, hemos creído conveniente explicar los algoritmos básicos y así podréis desarrollar por vosotros mismos un sistema completo de comparación del iris.

Finalmente, cabe destacar que los filtros de Gabor se han usado pero no se han explicado en detalle y que es fácil encontrar información sobre estos en cualquier libro de visión por computador.

Actividades

1. Dibujad un ojo y marcad las partes más importantes poniendo el nombre.
2. ¿Desde cuándo se considera que se empieza a investigar el iris como característica biométrica? ¿De quién es la patente más importante, hoy por hoy, del iris como característica biométrica?
3. Describid los diferentes pasos del sistema definido por la patente de Daugman.
4. ¿Qué método usan las cámaras para enfocar automáticamente?
5. ¿Con qué parámetros básicos se describe un iris?
6. Deseamos detectar el centro de la pupila de un iris. Por este motivo, tenemos la máscara de 5×5 donde se supone que el radio de la pupila es de 3 píxeles.

1	1	1	1	1
1	-1	-1	-1	1
1	-1	-1	-1	1
1	-1	-1	-1	1
1	1	1	1	1

Dada la imagen de un ojo representada por la matriz de 7×7 , calculad el valor de la convolución en los 9 píxeles centrales y deducid dónde se encuentra el centro de la pupila.

234	7	1	3	7	9	129
245	10	4	7	1	2	215
221	9	11	12	5	3	217
190	5	12	2	13	8	239
199	2	1	8	9	9	241
222	189	199	213	231	244	238
200	201	229	235	221	250	252

7. Hemos deducido que el centro de la pupila es (100, 105) y queremos usar los parámetros de Daugman para fijar el tamaño del código (8 filas y 256 columnas). ¿A qué punto de la imagen convertida va a parar la información del píxel (37, 29) de la imagen original?

8. Supongamos que las imágenes normalizadas solo tienen 3 filas y 8 columnas. ¿Cuál es el ángulo de rotación con el que se obtiene el mejor emparejamiento de las dos imágenes siguientes?

234	7	1	3	7	9	9	129
245	10	4	7	1	23	2	215
221	9	11	12	5	3	3	217

2	2	7	9	19	129	234	7
4	8	2	23	2	223	245	10

9	11	5	3	3	217	221	9
---	----	---	---	---	-----	-----	---

Abreviaturas

2D-FFT transformada rápida de Fourier bidimensional

I imagen original donde hay un ojo

V imagen del iris con coordenadas polares

K₁ bit 1 del código del iris

K₂ bit 2 del código del iris

Bibliografía

Boyer, Kevin; Hollingsworth, Karen; Flynn, Patrick (2008). "Image understanding for iris biometrics: a survey". *Computer vision and image understanding* (vol. 2, n.º 110, págs. 281-307).

Daugman, John (1994). *United States Patent number 5,291,560*

Jain, Anil; Flynn, Patrick; Ros, Arun (ed.) (2008). *Handbook of biometrics*. Springer.

Roy, Kaushik; Bhattacharya, Prabir (2008). *Iris recognition. A machine learning approach*. Verlag Dr. Muller.