

Reconeixement de les persones per l'iris

Francesc Serratosa

PID_00195434



Els textos i imatges publicats en aquesta obra estan subjectes –llevat que s'indiqui el contrari– a una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 Espanya de Creative Commons. Podeu copiar-los, distribuir-los i transmetre'ls públicament sempre que en citeu l'autor i la font (FUOC. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya), no en feu un ús comercial i no en feu obra derivada. La llicència completa es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.ca>

Índex

Introducció.....	5
Objectius.....	6
1. Anatomia de l'iris.....	7
2. Història de la biometria basada en l'iris.....	8
3. El mètode de Daugman.....	9
4. Obtenció de la imatge de l'ull.....	11
5. Localització de l'iris.....	12
6. Normalització de la regió de l'iris.....	14
7. Generació del codi de l'Iris.....	18
8. Comparació d'iris.....	20
Resum.....	23
Activitats.....	25
Abreviatures.....	26
Bibliografia.....	27

Introducció

En aquest mòdul explicarem el procés de comparació de dos iris. Per emmarcar correctament aquest procés, s'ha considerat convenient primer explicar una mica l'anatomia de l'ull (apartat "Anatomia de l'iris") i també la curta història de la biometria aplicada a l'iris (apartat "Història de la biometria basada en l'iris"). El procés que expliquem es basa en la patent de Daugman (any 1994). Això es deu al fet que la majoria de sistemes actuals es basen en aquesta patent. Només s'estan canviant alguns mòduls o algorismes que han anat millorant. Així, en l'apartat "El mètode de Daugman" expliquem les etapes del sistema de Daugman i en la resta d'apartats expliquem en detall cadascuna d'aquestes etapes.

És important remarcar que en els sistemes basats en l'iris no s'acostuma a aplicar un sistema de classificació com es fa en el cas de les dades.

Finalment, Daugman usa els filtres de Gabor per a generar el registre que representa l'iris. Aquest registre és el que s'usa per a fer les comparacions.

Reflexió

No hem volgut entrar en detall en la tècnica dels filtres de Gabor que està àmpliament explicada en diversos llibres.

Objectius

Els objectius bàsics d'aquest mòdul són els següents:

- 1.** Conèixer les etapes que hi ha en el procés de comparació de dos iris.
- 2.** Conèixer les tècniques de la visió per computador aplicades a l'extracció de les característiques principals de l'iris.
- 3.** Representar un iris en un registre d'una base de dades.
- 4.** Comparar dos iris.

1. Anatomia de l'iris

L'**iris** és un anell de teixit de color, ubicat al voltant de la **pupil·la** que és per on entra la llum cap a l'interior de l'ull.

Normalment, la pupil·la té una aparença més fosca que l'iris i aquesta característica ens serà útil per a localitzar l'iris. Una coberta transparent anomenada **còrnia** cobreix la pupil·la i l'iris. La còrnia genera reflexos de llum; aquest fet dificulta l'adquisició d'imatges de l'iris, però també ens pot ajudar a localitzar l'iris. La finalitat de l'iris és controlar la quantitat de llum que entra dins de l'ull i té dos músculs que serveixen per a dilatar-lo o contraure'l. La deformació de l'iris depèn de la quantitat de llum. Aquesta deformació també és un problema per a l'extracció de característiques invariants a agents externs. Però, d'altra banda, ens pot servir per a saber si l'ull està viu. L'**escleròtica** és una regió blanca amb vasos sanguinis que envolta l'iris. La frontera interior de l'iris (entre l'iris i la pupil·la) s'anomena **frontera pupil·lar**. I la frontera exterior de l'iris (entre l'iris i l'escleròtica) s'anomena **frontera límbica**. Un dels passos inicials per a la comparació d'iris és la localització d'aquestes fronteres. La figura 1 mostra la imatge d'un ull captada per un sistema de reconeixement per l'iris.

La superfície de l'iris conté un patró molt ric de solcs, contorns i pigues de pigment. Aquest patró és el que serveix per a generar una identificació que hauria de ser única i invariable. Es creu que aquest patró es determina d'una manera aleatòria durant el desenvolupament fetal de l'ull. Es considera que és diferent per a totes les persones i també entre l'ull esquerre i el dret de la mateixa persona. El color de l'iris varia segons la quantitat de pigment que hi tingui. Normalment augmenta durant la infància. No obstant això, per a gran part del període de vida de les persones, l'aparença de l'iris és relativament estable.

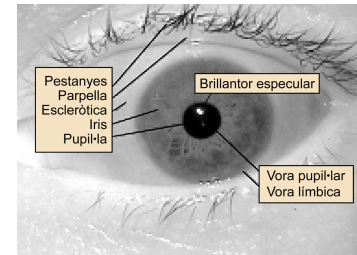


Figura 1. Imatge d'un ull amb les seves parts principals

2. Història de la biometria basada en l'iris

En el reconeixement de les persones per les dades, podem parlar d'una història de sistemes no automatitzats i una història de sistemes automatitzats. En canvi, i a causa del curt període d'existència del reconeixement per l'iris, no-més hi ha història de sistemes automatitzats. Malgrat tot, dins d'aquesta curta història es distingeixen dos períodes; el punt de pas de l'un a l'altre són els esdeveniments tràgics del setembre del 2001. A partir d'aquesta data, el nombre d'articles, patents i inversions econòmiques dedicades a aquesta biometria es va ampliar considerablement.

El 1987, **Flom** i **Safir** van obtenir una patent per a un disseny no implementat per al reconeixement de l'iris. La seva descripció exigia condicions molt controlades, per exemple, descriu l'existència d'un reposacaps, d'un punt que l'usuari ha de mirar, i també un operari que ajudava l'usuari. Cinc anys més tard, **Johnston** va publicar una investigació l'any 1992 sobre la viabilitat de la biometria de l'iris portada a terme al Laboratori Nacional de Los Álamos. Les imatges dels iris van ser adquirides de 650 persones i durant quinze mesos. En aquest experiment, es va destacar la dificultat d'adquirir imatges amb qualitat a causa dels reflexos de la còrnia. Finalment, s'arriba a la conclusió que la biometria de l'iris té un gran potencial tant en verificació com en reconeixement, encara que no es mostren resultats experimentals.

El treball més important presentat en aquest primer període de la història del reconeixement de l'iris és la **patent de Daugman** presentada el 1994. En aquesta patent es descriu un sistema de reconeixement amb força detall. I el sistema que descriu ha marcat tots els sistemes que s'han anat desenvolupant posteriorment, ja que ha marcat un model estàndard. Com que aquesta patent es va mantenir durant un temps per la mateixa empresa, es pot assegurar que la majoria de sistemes actuals es basen en la tecnologia de Daugman.

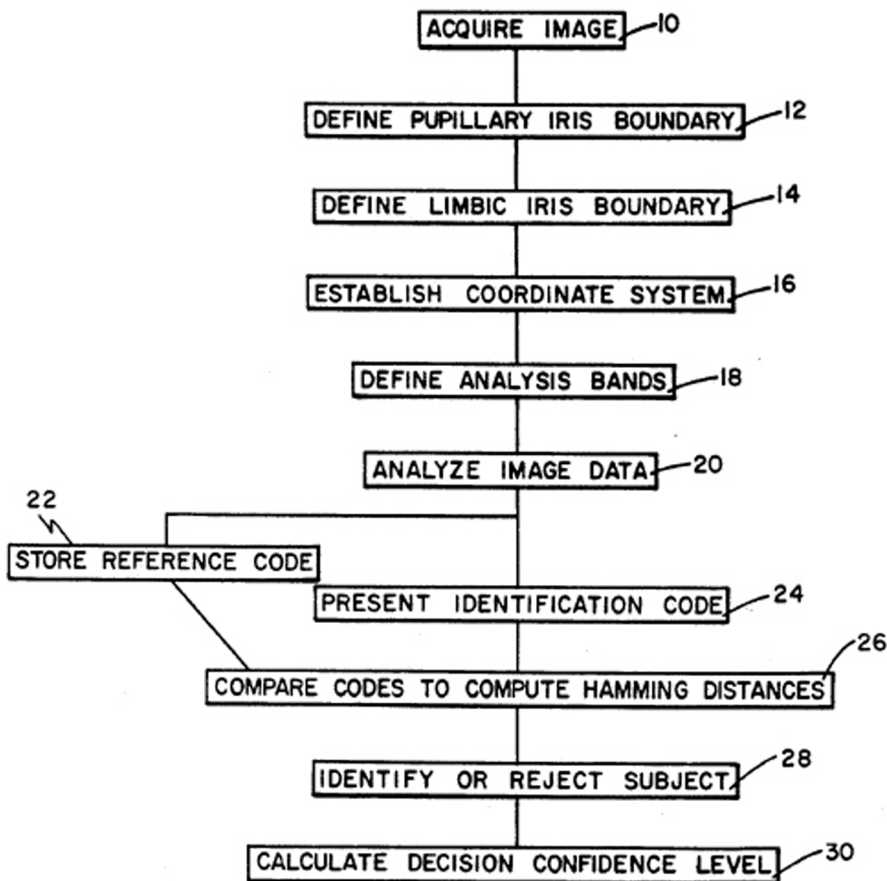
3. El mètode de Daugman

El mètode de Daugman descriu un procés amb els passos següents:

- 1) Obtenció de la imatge,
- 2) localització de l'iris,
- 3) normalització de la imatge de l'iris,
- 4) generació del codi de l'iris i
- 5) comparació.

La figura 2 mostra l'esquema principal del sistema de Daugman.

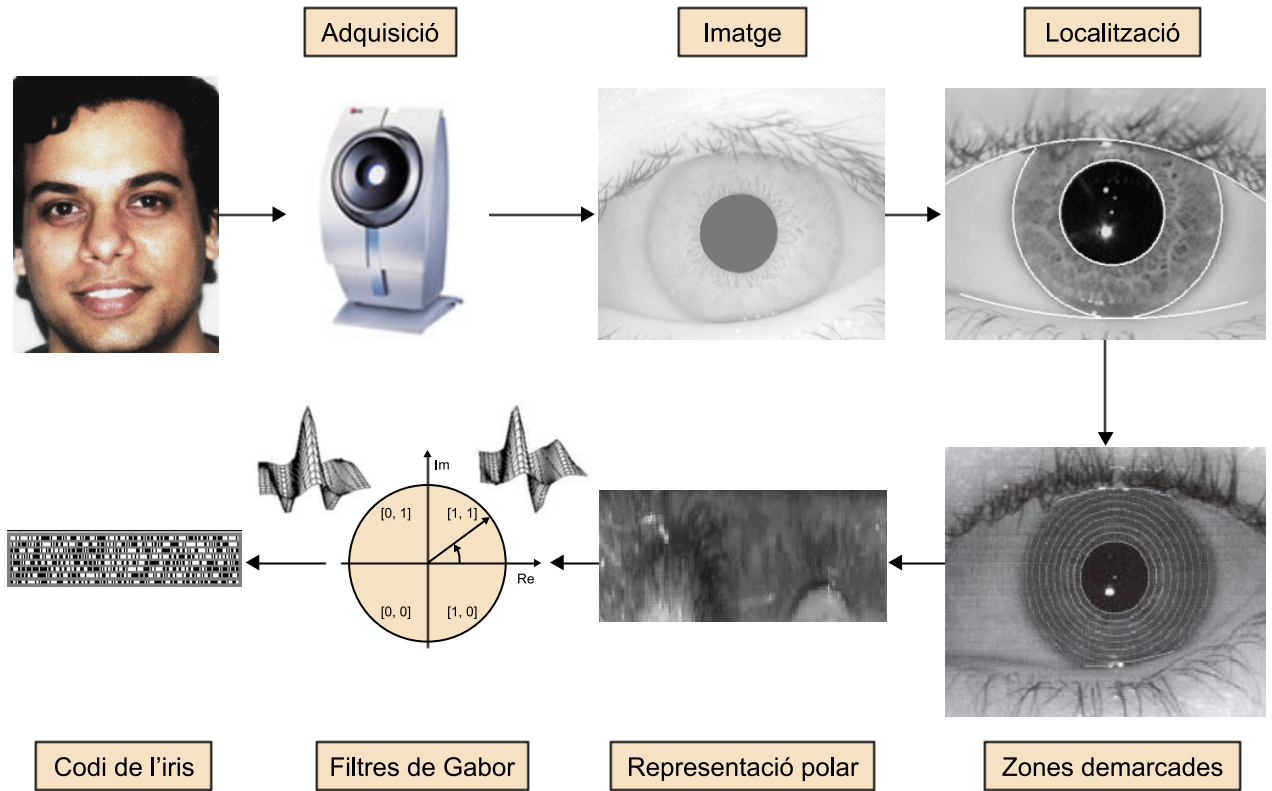
Figura 2. Esquema bàsic del sistema definit en la patent de Daugman



Font: extreta de la patent de Daugman

La figura 3 mostra gràficament les etapes d'aquest mètode que ara descriurem detalladament.

Figura 3. Etapes del sistema de Daugman representades en imatges



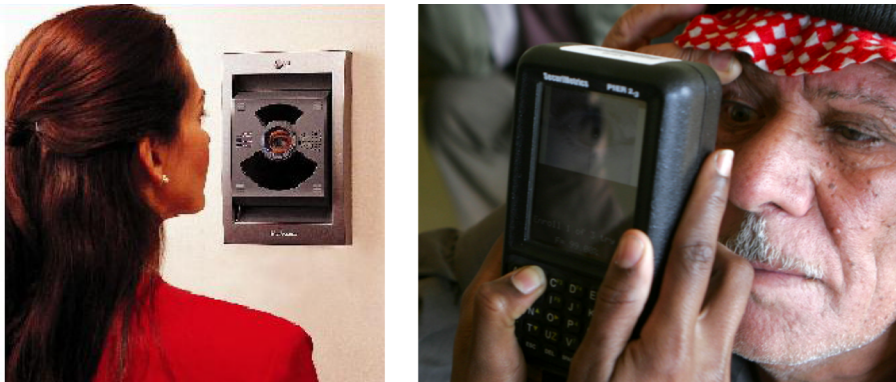
4. Obtenció de la imatge de l'ull

La **patent de Daugman** (o el mètode de Daugman) estableix que:

“el sistema adquireix amb una càmera de vídeo una imatge digitalitzada d'un ull humà per identificar-lo”.

La figura 4 mostra un sistema d'adquisició de l'iris fix i un de mòbil.

Figura 4. Sistema d'adquisició de l'iris fix i mòbil



La patent també estableix que la imatge adquirida ha de tenir una il·luminació vora la llum infraroja (una mica més de $0,74 \mu\text{m}$). Això es deu al fet que així la llum es pot controlar més fàcilment, ja que els focus de llum visible o bombetes generen poca llum a aquesta freqüència. La llum visible té una longitud d'ona inferior (de $0,38 \mu\text{m}$ a $0,74 \mu\text{m}$). A més, com que l'ull humà no veu aquestes longituds d'ona tan altes, l'usuari no té la sensació que l'estan il·luminant i és menys intrusiu. També s'ha vist que la il·luminació infraroja ajuda a desvelar l'estructura dels iris molt pigmentats (iris quasi negres), ja que el pigment de melanina absorbeix la llum visible (per això veiem l'iris de color negre) però reflecteix més les freqüències amb longitud d'ona alta.

El sistema de Daugman demana que els usuaris posicionin l'ull dins del camp de visió de la càmera. També concreta que el focus de la càmera es troba automàticament i a temps real. El **mètode d'enfocament**, que és el més usat avui en dia en totes les càmeres, es basa en el procés següent: es va canviant el focus de la càmera i en cada posició del focus es calcula l'energia a freqüències altes (s'usa la tècnica de la transformada ràpida de Fourier bidimensional, 2D-FFT). Una imatge ben enfocada és aquella en què es veuen els detalls amb claredat, això vol dir que l'energia a freqüències altes és gran. Per tant, el focus s'atura en la posició en què ha aparegut la màxima energia a freqüències altes.

5. Localització de l'iris

Un cop hem capturat la imatge de l'ull (fixeu-vos que diem imatge de l'ull i no imatge de la cara), el pas següent és trobar la part de la imatge que correspon a l'iris. Els primers treballs de Daugman aproximen les fronteres de l'iris (límbic i pupil·lar) per un cercle. Això vol dir que suposa que l'iris és completament rodó. D'aquesta manera, la frontera es descriu només per dos paràmetres: el **radi** i la **posició bidimensional del centre del radi**.

Per trobar aquests dos paràmetres de la frontera, Daugman proposa rastrejar tota la imatge amb uns operadors circulars variant el valor del radi. Aquest mètode es basa a convolucionar una màscara per tota la imatge. Primer es localitza el radi més petit (radi pupil·lar) i un cop el tenim fixat, es localitza el radi més gran (radi límbic).

Per a detectar el **radi pupil·lar**, la màscara és una imatge quadrada com mostra la figura 5, en què el negre representa $W_i = -1$ i el valor blanc representa $W_i = +1$. Un píxel qualsevol de la màscara es representa com a W_i . Aquesta màscara es recorre per tota la imatge i, a més, es van fent diverses passades per anar engrandint el radi que separa els píxels negres dels píxels blancs. Anomenarem C_1 la imatge resultant de convolucionar la imatge de l'iris I amb la màscara representada en la figura 5 amb dimensions $l \times l$ que anomenem W_1 . La imatge C_1 té les mateixes dimensions que la imatge de l'iris I .

En una imatge de l'ull monocromàtica (nivell de grisos), la pupil·la es visualitza més negra (valor baix dels píxels), l'iris es visualitza gris (valor mitjà dels píxels) i l'escleròtica es visualitza blanca (valor alt dels píxels). Quan el contorn del cercle coincideix amb el radi pupil·lar (entre pupil·la i iris), llavors $C_1[x, y]$ adopta un valor alt ja que tots els pesos $W_i = -1$ es multipliquen per valors baixos i els pesos $W_i = +1$ es multipliquen per valors mitjans. Decidim que el radi pupil·lar i el centre de la pupil·la són el radi actual de la màscara i la posició de la màscara quan $C_1[x, y]$ ha adoptat el valor màxim per a totes les combinacions de l .

Un cop hem decidit quin és el radi pupil·lar i el centre de la pupil·la, llavors, només ens queda localitzar el radi límbic (entre l'iris i l'escleròtica). En aquest cas, aplicarem una màscara com mostra la figura 6, que anomenem Y_p , en què (igual que en la màscara anterior) el negre representa $Y_i = -1$ i el valor blanc representa $Y_i = +1$. I a més, el valor gris representa $Y_i = 0$. Usem la mateixa nomenclatura que abans, en què Y_i representa un píxel qualsevol de la màscara.

Vegeu també

La tècnica de la patent de Daugman ja l'hem usada per a obtenir el gradient horitzontal i vertical de les ditades en el mòdul "Reconeixement de les persones per la ditada" d'aquesta assignatura.

Vegeu també

Vegeu l'obtenció de la imatge del gradient horitzontal i vertical en el subapartat 3.1.1 del mòdul "Reconeixement de les persones per la ditada" d'aquesta assignatura.

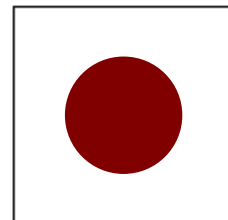


Figura 5. Representació de la màscara per a detectar el radi pupil·lar de l'iris

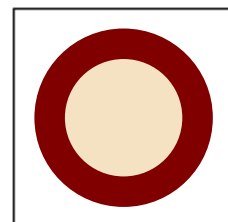


Figura 6. Representació de la màscara per a detectar la frontera límbica

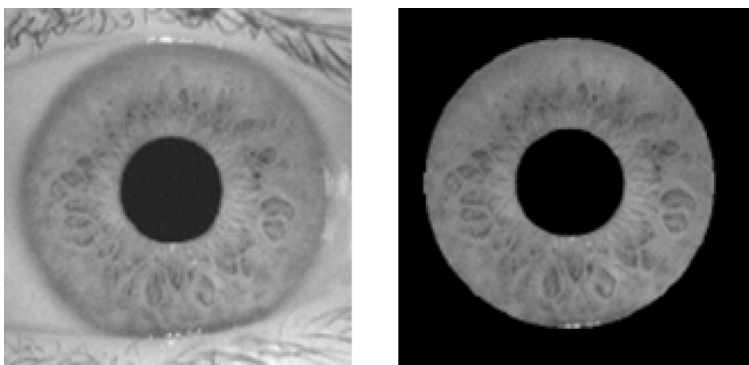
Fixeu-vos que ara ja no fa falta recórrer tota la imatge de l'ull perquè ja tenim localitzat el centre de la pupil·la (que assumim que és el mateix que el centre de l'iris). Tampoc no ens fa falta modificar el radi interior que acabem de trobar. És a dir, que en aquesta segona fase només anirem ampliant el radi més gran de la màscara, que anomenem p (que separa el nivell de negres amb el de blancs), i la mantindrem centrada al centre de la pupil·la. A més, el radi interior de la màscara (que separa el nivell de grisos amb el de negres) també es manté fix, i és el radi pupil·lar que s'acaba de trobar.

El **radi límbic** es defineix com el radi més gran de la màscara quan el valor $C_p[x, y]$ és màxim.

La principal restricció d'aquest sistema és assumir que la pupil·la i l'iris són completament circulars i que comparteixen el centre de la circumferència. Encara que visualment les pupil·les i els iris semblen molt circulars, a escala de píxels de la imatge no és cert. A més, aquest mètode acostuma a tenir dificultats a l'hora d'obtenir posicions i radis no gaire exactes quan hi ha oclusions parcials de l'iris per part de les parpelles o pestanyes. La primera millora pot ser no assumir que el punt central de la pupil·la i de l'iris és el mateix. En aquest cas, implica que a l'hora de decidir el radi més gran, també podem desplaçar la màscara nova "al voltant" del centre trobat anteriorment. Fixeu-vos que el procés continua sent bastant ràpid perquè només permetrem un cert desplaçament entre centres i no haurem de tornar a recórrer tota la imatge com en el primer pas.

En la figura 7, es mostra a la dreta un ull i a l'esquerra el mateix ull en què s'ha seleccionat la zona on hi ha iris.

Figura 7. Imatge d'un ull i la mateixa imatge en què s'ha pogut segmentar l'iris



Les noves tècniques modelen la pupil·la i l'iris amb plantilles deformables. Així, són capaces de capturar, no sols la no-circularitat, sinó també les oclusions de les pestanyes o les parpelles.

Reflexió

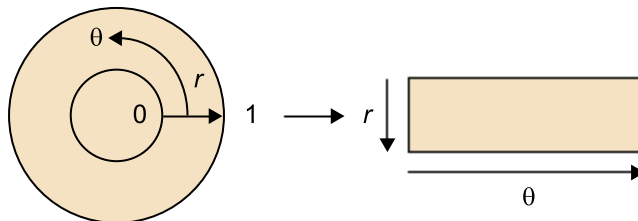
L'explicació d'aquest model excedeix els objectius d'aquest material.

6. Normalització de la regió de l'iris

Un cop hem isolat la zona de la imatge (normalment s'anomena *regió*) on els píxels hi ha iris, el pas següent és descriure les característiques de l'iris de manera que en faciliti la comparació. La primera dificultat és que no totes les regions d'iris tenen les mateixes dimensions. La distància entre la càmera i l'ull afecta les dimensions d'aquesta regió i l'usuari no es posarà mai dues vegades exactament a la mateixa distància. D'altra banda, els canvis en la il·luminació fan que l'iris es dilati o es contregui. Per això, encara que l'usuari estigui exactament a la mateixa distància, pot ser que el seu iris sigui una mica més gran, i que ocupi més espai a la imatge. Aquest problema se soluciona (o minimitza) traslladant la regió en què hi ha l'iris a un espai bidimensional normalitzat.

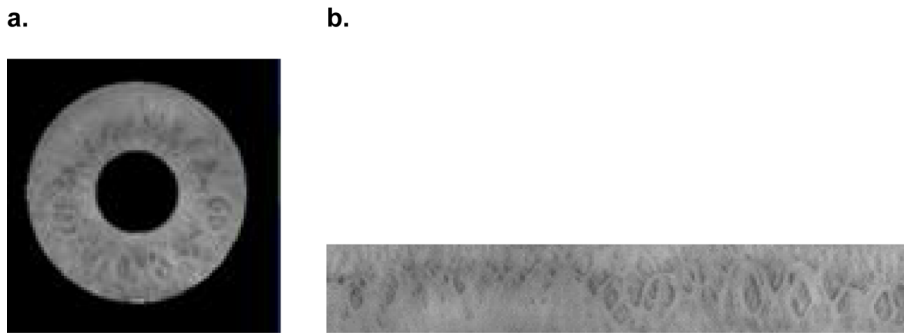
Per portar a terme aquesta normalització, el primer que farem és definir la regió de l'iris en un espai de coordenades polars. Cada píxel en aquest espai, en lloc de definir-lo amb el sistema de coordenades clàssic (x, y) , es defineix en un sistema (r, α) , en què r representa el radi des del centre de la pupil·la i α és l'angle (assumint que l'angle 0 és l'horitzontal). Vegeu la figura 8.

Figura 8. Transformació de la imatge de l'iris en un sistema de coordenades polar



Un cop hem definit els píxels en aquest espai nou, els podem traslladar a l'espai normalitzat. Aquest nou espai és rectangular en què l'eix vertical representa el radi r i l'eix horitzontal representa l'angle α . Si suposem que la coordenada $(0, 0)$ és la cantonada esquerra superior, llavors, en aquesta representació, la frontera pupil·lar es troba a d'alt de tot i la frontera límbica es troba a baix de tot. A més, la columna de més a la dreta i la de més a l'esquerra són píxels que s'estan tocant en la imatge original. La figura 9 mostra una imatge de l'ull en què no s'ha segmentat l'iris i la imatge de la zona de l'iris passada a coordenades polars.

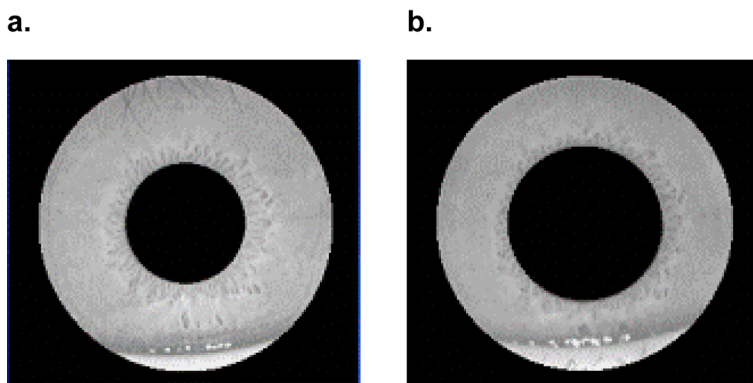
Figura 9



a. Iris segmentat. b. Visualització en coordenades polars

Per fer aquesta translació, assumim que l'iris s'estén o es contrau linealment. Aquest fet no és cert, ja que la part més interna de l'iris és la més dinàmica però s'ha comprovat que és una aproximació prou bona. En la figura 10 es mostra un mateix iris. A l'esquerra amb il·luminació normal i a la dreta amb poca il·luminació. Observant-ne la textura, podem comprovar que la zona més interior és la que s'ha reduït més quan l'ull rep poca llum.

Figura 10. Dues imatges d'un mateix iris



a. Amb il·luminació. b. Amb poca il·luminació

Assumim que (x_0, y_0) és el centre de coordenades de l'iris. Llavors, definim els píxels de la imatge amb el sistema polar de la manera següent:

1) L'angle es calcula com a:

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

La funció atan2 calcula l'arc tangent de $\frac{y - y_0}{x - x_0}$ però té en compte el signe del numerador i del denominador. Així, l'angle resultant es pot trobar en els quatre quadrants de la circumferència, $\alpha \in [\pi, -\pi]$.

2) El radi es calcula de la manera següent:

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

El radi és un real no negatiu $r \in [0, \infty)$.

Un cop hem definit la imatge amb el sistema polar, ara hem d'omplir els píxels de la imatge nova $V(x', y')$. Llavors, obtenim aquestes dues variables x' i y' de la manera següent:

1) La coordenada x' es calcula:

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

Imposem que el rang d'aquesta variable sigui $x' \in [0, M-1]$.

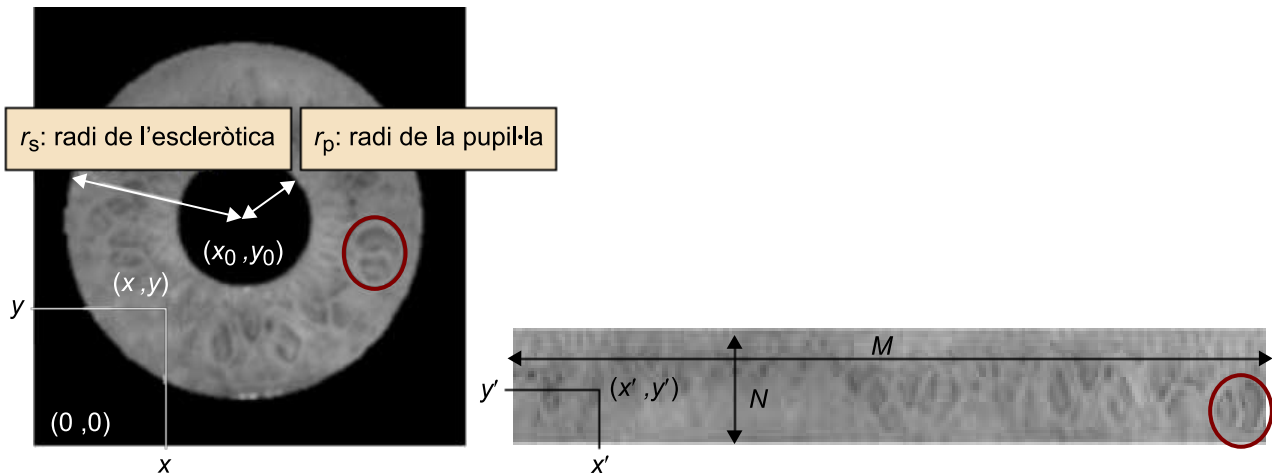
2) La coordenada y' es calcula:

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

Imposem que el rang d'aquesta variable sigui $y' \in [0, N-1]$. El radi pupilar és r_p i el radi límbic és r_s . Suposem que r_s és més gran que r_p .

La figura 11 mostra en la imatge de l'esquerra un iris i les variables necessàries per a convertir el sistema en coordenades polars. En la imatge de la dreta, el sistema de coordenades de la imatge nova. A més, es mostra dins d'un cercle un detall de l'iris que apareix en les dues imatges.

Figura 11. Conversió de les coordenades polars



Finalment, per a omplir tota la imatge nova l'algorisme podria ser el que es presenta a continuació.


```

algorisme I de normalització de la regió de l'iris

per a tots els píxels de la imatge original (x, y):
    calculem (r, α)
    si ens trobem dins de l'iris, és a dir,  $r_s \leq r \leq r_p$ ,
        llavors calculem (x', y')
         $V(x', y') = I(x, y)$ 

fi per

fi algorisme

```

La figura 12 mostra un iris i la imatge obtinguda amb aquest algorisme. Es pot observar que apareixen uns punts negres a la part superior. Això es deu al fet que cap píxel de la imatge original no ha anat a parar a aquestes posicions de la imatge nova. Per aquest motiu, es proposa un algorisme que actua de manera inversa. En lloc de recórrer tots els píxels de la imatge original, el que fa és recórrer tots els píxels de la imatge nova i cercar a quins píxels corresponen de la imatge original.

Figura 12

a. **b.**



a. Imatge d'un iris. b. El mateix iris de l'apartat a en coordenades polars usant l'algorisme directe

El nou algorisme és el que presentem a continuació.

```

algorisme II de normalització de la regió de l'iris

per a tot x' i y', calcular l'angle i el radi:

 $\alpha = \frac{2\pi x'}{M-1} - \pi.$ 
 $r = r_p + \frac{(r_s - r_p) \cdot y'}{N-1}.$ 

amb l'angle i el radi, calculem les coordenades
de la imatge original:
     $x = r \cdot \sin(\alpha) + x_0.$ 
     $y = r \cdot \cos(\alpha) + y_0.$ 

omplim la nova imatge:  $V(x', y') = I(x, y)$ 

fi algorisme

```

7. Generació del codi de l'Iris

Un cop omplerta la imatge nova, ara només ens queda generar el codi que representa l'iris. Per a això, Daugman usa els valors següents per a la imatge normalitzada: $M = 256$ i $N = 8$. Per aquest motiu, es diu que el sistema de Daugman genera vuit circumferències equicèntriques. Aquestes circumferències s'han dibuixat en una de les imatges de la figura 3. El codi té exactament les mateixes dimensions. No obstant això, cada píxel no es representa per 8 bits com en les imatges clàssiques monocromàtiques sinó per només 2 bits. La figura 13 mostra un dels bits del codi. Cadascun dels dos bits del codi de Daugman ocupa $256 \times 8 = 2.048$ bits.

Figura 13. Un dels bits del codi d'un iris



$K_1[x, y]$ i $K_2[x, y]$ són el primer i el segon bit del codi en la posició (x, y) . Aquests dos bits apareixen després de convolucionar un filtre de Gabor amb la imatge normalitzada. És a dir, que la màscara de convolució ara és la **funció de Gabor**. Com que els filtres de Gabor retornen una funció complexa, la convolució (suma dels pesos en les diferents posicions de la màscara més una suma final) també és una funció complexa. El bit $K_1[x, y]$ representa la part real i el bit $K_2[x, y]$ representa la part imaginària del resultat de la convolució en la posició (x, y) de la manera següent:

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

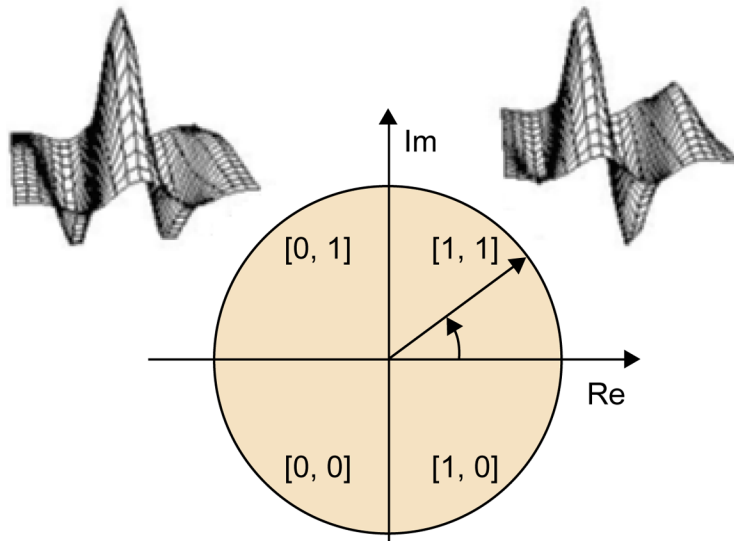
$$K_2[x, y] = 0 \text{ si } \text{Conv}(x, y, V, \text{Gabor}_{Im}) < 0 \text{ i } K_2[x, y] = 1 \text{ altrament}$$

En la figura 14 es visualitza la part real, Gabor_{Re} , i la imaginària, Gabor_{Im} , d'un filtre de Gabor. També es visualitzen els dos bits del codi segons la fase en què es trobi el nombre complex generat.

Vegeu també

La màscara de convolució es comenta en el mòdul "Reconeixement de les persones per la ditada" d'aquesta assignatura.

Figura 14. Representació dels dos bits del codi d'un iris segons la part imaginària i la part real del filtre de Gabor



A continuació, explicarem com es generen les màscares que representen la part real de la funció de Gabor i la part imaginària de la funció de Gabor. Els filtres de Gabor apareixen en multiplicar una funció gaussiana amb una funció sinusoidal.

Per a cadascun dels píxels de les màscares (x, y) , se n'obté el valor de la manera següent:

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

en què

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

Estem suposant que si l'amplària i la llargària de les màscares és $2T + 1$, llavors les variables x' i y' adopten valors enters dins del rang $[-T, \dots, -1, 0, 1, \dots, T]$.

Reflexió

No és l'objectiu d'aquesta assignatura explicar amb detall els filtres de Gabor, només volem usar aquesta eina matemàtica.

8. Comparació d'iris

Un cop hem generat els codis que representen els iris, ens queda l'últim pas del procés, que és la comparació d'aquests codis. La comparació directa de les imatges (o imatges normalitzades), com podria ser la distància euclidiana entre els valors dels píxels, no aporta gaires bons resultats per les diferències d'il·luminació de les dues imatges. Per aquest motiu, es comparen els codis i no les imatges.

Daugman usa la distància de Hamming per a comparar aquests codis. Aquesta distància mesura la fracció dels bits que són diferents entre els dos codis. Donats dos codis, X i Y de n elements, la distància de Hamming es defineix com a:

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

El símbol \otimes representa l'"o exclusiva". És a dir:

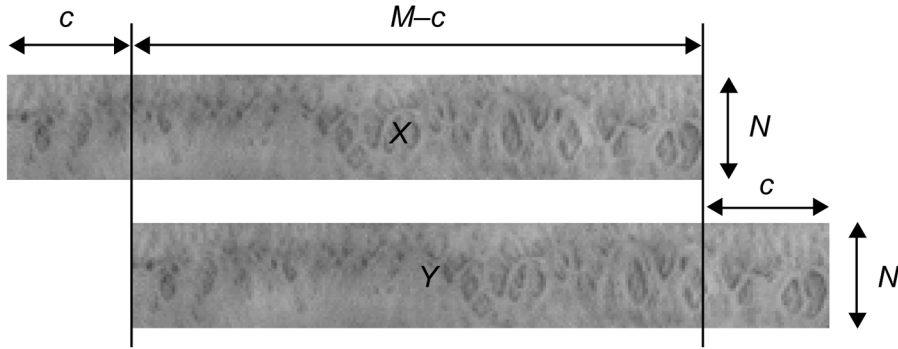
$$X_i \otimes Y_i = 1 \text{ si } X_i = Y_i$$

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

Si el valor de la distància de Hamming és baix llavors els codis s'assemblen.

Si la persona havia inclinat lleugerament el cap a l'hora de presentar-se davant del sistema, llavors la imatge normalitzada i el codi iris pateixen un desplaçament en les columnes. Les columnes de més a la dreta (o a l'esquerra) haurien d'estar ubicades en les columnes de més a l'esquerra (o dreta). Per tenir en compte aquestes possibles orientacions, es calcula la distància de Hamming en diverses rotacions. Es considera que la distància entre els dos codis és la mínima distància de les distàncies que s'han obtingut en les diverses comparacions. La figura 15 mostra una imatge normalitzada dues vegades (usem imatges en lloc de codis perquè sigui més visible). En la superior no hi ha rotació i en la inferior hi ha una rotació a la dreta de c columnes. Anomenem aquestes dues imatges X i Y .

Figura 15. El mateix iris representat en forma polar i amb dues rotacions diferents



La distància entre aquests dos codis, assumint que hi ha un desplaçament de c columnes cap a la dreta, per tant $0 \leq c \leq M$, és:

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

I si el desplaçament és cap a l'esquerra, $0 > c > -M$, és:

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

Finalment, l'algorisme per a calcular la distància entre dos iris en què el primer iris ha generat els codis X_{K_1} i X_{K_2} i el segon ha generat els codis Y_{K_1} i Y_{K_2} és:

algorisme II de normalització de la regió de l'iris

$D_{\min} = \infty$

per a $c = 0$ fins M amb increments d'1 calcula

$D_d(X_{x_1}, Y_{x_1}, c)$ i calcula $D_d(X_{x_2}, Y_{x_2}, c)$

si $D_d(X_{x_1}, Y_{x_1}, c) + D_d(X_{x_2}, Y_{x_2}, c) < D_{\min}$ llavors

$D_{\min} = D_d(X_{x_1}, Y_{x_1}, c) + D_d(X_{x_2}, Y_{x_2}, c)$

fi per

per a $c = -1$ fins $-(M + 1)$ amb increments d'1 calcula

$D_e(X_{x_1}, Y_{x_1}, c)$ i $D_e(X_{x_2}, Y_{x_2}, c)$

si $D_e(X_{x_1}, Y_{x_1}, c) + D_e(X_{x_2}, Y_{x_2}, c) < D_{\min}$ llavors

$D_{\min} = D_e(X_{x_1}, Y_{x_1}, c) + D_e(X_{x_2}, Y_{x_2}, c)$

fi per

retorna D_{\min}

fi algorisme

Resum

En aquest mòdul hem explicat la comparació de dos iris basada en la patent de Daugman. També s'ha comentat l'anatomia de l'iris i un resum breu de la història de la biometria aplicada a l'iris.

Actualment hi ha algorismes i tècniques que obtenen millors resultats que els explicats en aquest mòdul. No obstant això, hem cregut convenient explicar els algorismes bàsics perquè així l'alumnat pugui desenvolupar per si mateix un sistema complet de comparació de l'iris.

Finalment, cal destacar que els filtres de Gabor han estat usats però no explicats en detall i que és fàcil trobar-ne informació en qualsevol llibre de visió per computador.

Activitats

1. Dibuixeu un ull i marqueu-ne les parts més importants amb el nom.
2. Des de quan es considera que es comença a fer recerca en l'iris com a característica biomètrica? De qui és la patent més important, ara per ara, de l'iris com a característica biomètrica?
3. Descriviu els diferents passos del sistema definit per la patent de Daugman.
4. Quin mètode usen les càmeres per a enfocar automàticament?
5. Amb quins paràmetres bàsics es descriu un iris?
6. Volem detectar el centre de la pupil·la d'un iris. Per aquest motiu, tenim la màscara de 5×5 en la qual se suposa que el radi de la pupil·la és de 3 píxels.

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

Donada la imatge d'un ull representada per la matriu de 7×7 , calculeu el valor de la convolució en els 9 píxels centrals i deduiu on es troba el centre de la pupil·la.

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. Hem deduït que el centre de la pupil·la és (100, 105) i volem usar els paràmetres de Daugman per a fixar la mida del codi (8 files i 256 columnes). A quin punt de la imatge convertida va a parar la informació del píxel (37, 29) de la imatge original?

8. Suposem que les imatges normalitzades només tenen tres files i vuit columnes. Quin és l'angle de rotació amb el qual s'obté el millor emparellament de les dues imatges següents?

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

Abreviatures

2D-FFT Transformada ràpida de Fourier bidimensional

I Imatge original en què hi ha un ull

V Imatge de l'iris amb coordenades polars

K₁ Bit 1 del codi de l'iris

K₂ Bit 2 del codi de l'iris

Bibliografia

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

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

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

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

