

Overview on the beginnings of personal recognition based on human iris

Cătălin LUPU, Valeriu LUPU

Abstract—Personal identification or authentication are issues that have been studied for a long time. Iris recognition is one of the newest methods for recognition of persons, starting with a patent that appeared in 1987. For comparison, the fingerprints have been used since the mid-19th century, both for forensic or personal identification. In this paper will be presented a summary of two patents that have revolutionized the field of iris recognition: Flom and Safir's, from 1987 and Daugman's, from 1994.

Index Terms—iris; biometrics; Daugman's algorithm; authentication; identification

I. INTRODUCERE

IRISUL ochiului uman este o structură complexă care cuprinde mușchi, țesut conjunctiv, vase capilare și cromatofore. La exterior prezintă o structură vizibilă cu variații radiale și unghiulare rezultând din brazde de contracție, fibre din colagen, filamente, vascularizație în serpentină, inele și pete de roșeață; luate împreună, acestea constituie o „amprentă digitală” distinctivă (individuală, personalizată). Imaginea optică mărită a unui iris uman, constituie de asemenea o semnătură biometrică plauzibilă pentru stabilirea sau confirmarea identității personale. Alte proprietăți ale irisului care se pretează acestui scop, și sunt mult superioare amprentelor digitale pentru sistemele automate de identificare, includ: (i) imposibilitatea de a modifica prin intervenții chirurgicale structura sa, fără riscuri inacceptabile; (ii) protecția și izolarea sa inerentă de mediul fizic; (iii) răspunsul său fiziologic la lumină, care este ușor de monitorizat.

Avantajele tehnice adiționale în raport cu amprentele digitale pentru sistemele automate de identificare includ facilitatea de a înregistra irisul în mod optic, fără contact fizic, precum și geometria polară intrinsecă a irisului, care dau un sistem și o origine de același rang normal.

Nu se cunoștea, până la cercetările care au condus la descoperirea lui Daugman ([1] și [2]) dacă existau suficiente grade de libertate sau variații ale irisului între diverși indivizi,

pentru a da irisului aceeași singularitate ca la amprentele digitale convenționale. La fel de incert era și faptul că nu se știa dacă algoritmi eficienți pot fi dezvoltati pentru a extrage în mod sigur structura detaliată a irisului plecând de la o imagine vizuală, pentru producerea unui cod compact (de lungime minimă în comparație cu mărimea datelor din imagine), și pentru a lua o decizie referitoare la identitate cu o mare precizie statistică, toate acestea realizându-se într-un timp foarte mic de procesare pe echipamentele hardware existente. Invenția lui Daugman rezolvă toate aceste întrebări în mod afirmativ.

II. ÎNCEPUTURILE UTILIZĂRII IRISULUI PENTRU RECUNOAȘTEREA PERSOANELOR - PATENTUL DIN 1987 AL CERCETĂTORILOR FLOM ȘI SAFIR,

Invenția cercetătorilor Flom și Safir ([3]) are scopul identificării caracteristicilor ochiului uman pentru a recunoaște o persoană după caracteristicile irisului.

Există metode tradiționale, mult mai cunoscute, de identificare a unui individ, prin amprentarea sa sau prin prelevarea de amprente de la locul unei crime, de exemplu, pentru identificarea acestuia. Dar găsirea și prelevarea amprentelor este o muncă grea și anevoioasă ce necesită timp și pregătire în domeniu. Pentru o mai ușoară identificare a indivizilor s-a prezentat în patentul nr. 4109237 o metodă mult mai eficientă de identificare a indivizilor prin recunoașterea irisului de către un aparat. Această metodă are o acuratețe mult mai mare decât prelucrarea manuală, deoarece unii indivizi pot încerca să-și distrugă amprentele în diferite feluri, dar la ochi este periculos să încerce să distrugă o parte din vascularizare deoarece aceste lucruri pot afecta vederea, în unele cazuri ajungându-se la orbire. Un asemenea aparat este foarte util, deoarece citirea se poate face cu o minimă cooperare a individului.

Invenția are la bază „recunoașterea irisului”. În acest caz este mult mai ușor de a identifica caracteristicile ochiului decât prin scanarea retinei deoarece irisul și pupila sunt mult mai ușor de citit.

Acest procedeu se bazează pe caracteristicile constant schimbătoare ale irisului și pupilei care se dilată și se contractă constant la o anumită sursă de lumină, în acest caz folosindu-se o lumina care este îndreptată înspre ochi astfel încât pupila să ajungă la dimensiunea dorită, această dimensiune existând la imaginea ochiului persoanei deja intrată în baza de date.

Pentru ajustarea mărimii irisului trebuie folosite mai multe

Cătălin LUPU is a Ph.D. student at „Ștefan cel Mare” University of Suceava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, str.Universitatii nr.13, RO-720229 Suceava (lupucata@yahoo.com).

Valeriu LUPU is with “Ștefan cel Mare” University of Suceava, Faculty of Economics and Public Administration, str.Universitatii nr.13, RO-720229 Suceava (valeriu@seap.usv.ro).

surse de lumini monocromatice pentru ca în momentul în care irisul și pupila ajung la dimensiunea dorită atunci și umbrele care se află pe ochi să fie ca acele care sunt în imaginea de comparat, respectiv aceste umbre modifică în esență și intensitatea culorii irisului, care trebuie să fie la o anumită valoare prestabilită. Imaginea este prelevată de o camera de acuratețe cât mai mare care transferă aceasta imagine la un dispozitiv de calcul, unde este comparată cu cea din baza de date. Irisul și pupila sunt în strânsă legătură, irisul având funcția de a contracta sau de a dilata pupila. Irisul se împarte în zona ciliară – care este zona periferică –, și zona pupilară, care este reprezentată de zona interioară care desparte irisul de pupilă.

Pe iris pot apărea anumite pete denumite pistrii, pete mai închise și pot apărea ”cripte”, care reprezintă totodată o pată cât și o adâncitură în iris. Aceste pete adâncite sunt localizate în general la granița dintre zona ciliară și zona pupilară. Pistrii ca și pete nu reprezintă o problema majoră în identificare deoarece numărul lor este constant, deci nu există riscul ca la momentul identificării ochiul să aibă altă structură din pricina acestora.

Există o zonă care delimitează irisul de pupilă și care este o linie sinuoasă paralelă cu pupila și reprezintă cea mai groasă zonă a irisului. Această zonă este strabătută pe toată suprafața de brazde radiale, care mai sunt numite șanțuri, și care permit modificarea dimensiunii irisului pentru a filtra cantitatea de lumina care ajunge în ochi.

Invenția vrea să demonstreze că irisul poate fi folosit pentru identificarea unui individ. Acest lucru se bazează pe unicitatea irisului și pe stabilitatea de care dă dovadă de-a lungul timpului, de aici rezultând faptul ca irisul este unic pentru fiecare persoană. Acest lucru poate fi identificat atât în stratul exterior, cât și în stratul interior al acestuia. Ideea principală este că aparatul care captează imaginea să o facă cât mai exact și, pe cât posibil, în aceeași poziție cu imaginea de comparat, pentru a nu exista distorsiuni.

Este de preferat să existe mai multe camere pentru prelevarea imaginii din diferite unghiuri, dar se poate folosi și o singură cameră care va fi mutată în diferite unghiuri în funcție de necesități. Se mai pot folosi și alte metode de obținere a imaginii bazate pe utilizarea undelor laser care reprezintă formarea unei holograme. Pentru a forma, analiza, compara și ajunge la un rezultat sigur se folosesc algoritmi care au fost elaborați încă din 1973. Algoritmii de detectare a marginilor pot fi folosiți în scanarea marginilor și găsirea acelor pete adâncite, lucru care ar duce la identificarea mult mai rapidă a individului.

Invenția este limitată de faptul că trebuie să existe măcar o imagine cu o dimensiune prestabilită a pupilei, și măcar aceeași proporție a irisului și pupilei salvată ca și în imaginea de comparat (de aici rezultă că dacă există o parte a imaginii – dar nu suficient de mare –, nu se va reuși compararea celor două mostre). Trebuie să se identifice câte una din toate caracteristicile existente la ochi pentru a se ajunge la un rezultat concret.

Eficiența este scăzută din cauza faptului că nu sunt de ajuns doar anumite caracteristici ale ochiului fotografiat pentru a fi comparat cu cel din baza de date, ci este nevoie de o mulțime de caracteristici care trebuie să se potrivească exact.

III. TRANSPUNERE MATEMATICĂ A METODEI DE IDENTIFICARE A IRISULUI – PATENTUL DIN 1994 AL DR. JOHN DAUGMAN

În anul 1995 a fost patentată lucrarea “Biometric personal identification system based on iris analysis” [2], realizată de către John Daugman, considerat părintele recunoașterii persoanelor după iris. Patentul are numărul 5291560, și a fost emis în data de 1 mai 1994. Principalele contribuții ale acestui patent sunt: (i) localizarea irisului este rezolvată folosind modelarea activă a conturilor; (ii) în privința reprezentării, Daugman propune aplicarea filtrelor Gabor.

Un mod de realizare a recunoașterii persoanelor după iris este pus într-o formă schematică în figura 1 și cuprinde o schemă funcțională care descrie principalele etape în crearea unui cod de identificare a irisului, iar apoi, utilizarea acestui cod pentru realizarea unei identificări. Procesul va fi discutat la modul general, urmat de o analiză detaliată.

La un nivel mult mai larg, sistemul poate fi proiectat în cinci etape. Pentru început, o imagine a ochiului care va fi analizat trebuie captată în formă numerică potrivită pentru analiză, după cum este arătat în blocul 10 din figura 1. Apoi, porțiunea de iris din imagine trebuie definită și izolată (blocurile 12, 14, 16 și 18). Sectorul de imagine astfel definit trebuie apoi analizat pentru producerea unui cod al irisului (blocul 20). Trebuie notat faptul că primul cod al irisului produs pentru un iris particular este stocat ca și un cod de referință (blocul 22). În următoarea fază, sistemul utilizează codul de referință pentru a face o identificare prin compararea codului prezentat (bloc 24) cu codul de referință pentru a obține o distanță Hamming (bloc 26). Aceste date permit sistemului să stabilească, confirme sau infirme, identitatea subiectului (bloc 28) și să calculeze un nivel de confidență pentru decizie (blocul 30). Într-o aplicație practică a acestui sistem, o imagine digitală precum cea ilustrată în figura 2 prezintă un ochi 100 cu irisul 102 care înconjoară pupila 104. Partea 105 a ochiului este sclerotica care este partea albă ce înconjoară în mod alternativ irisul 102. Prima etapă în tratarea (prelucrarea) imaginii este localizarea frontierei dinspre pupilă 106, care separă pupila 104 de irisul 102, la un grad ridicat de exactitate (blocul 12 din figura 1). Această etapă este una critică pentru a se asigura de faptul că părților identice ale irisului le sunt atribuite coordonate identice de fiecare dată când o imagine este analizată, independent de gradul de dilatare a pupilei.

A. Metodă pentru determinarea frontierei interioare a irisului

Frontiera interioară a irisului, care formează pupila, poate fi determinată exact prin exploatarea faptului că frontiera pupilei este în mod esențial o bordură circulară. După cum se poate vedea în figura 2, pupila 104 este în mod general mai întunecată în timp ce irisul 102 este mai deschis la culoare și

mai variat pigmentat. Oricum, acest raport poate fi câteodată inversat, de exemplu în cazul ochilor cu iriși negri și a opacității lentilelor interne sau în cazul iluminării optice coaxiale (direct în ochi), în acest caz lumina fiind reflectată înapoi de la retină spre pupilă. Un alt motiv pentru care imaginea pupilei poate fi mai luminoasă este legat de reflexiile speculare ale corneei. O metodă pentru găsirea frontierei pupilei trebuie să fie atât de robustă, încât să funcționeze în mod sigur chiar și în cazul în care regiunea pupilei este mai mult sau mai puțin închisă la culoare decât irisul. Prezenta invenție, prin care se atinge un nivel optim de robustețe și acuratețe comportamentală, privește un sistem de probe integrate cu privire la frontiera pupilară autentică.

Metoda lui Daugman detectează frontiera pupilei ca o schimbare bruscă a intensității de culoare când se face însumarea pe un cerc a cărui rază crește în continuu. Această schimbare bruscă va fi maximă dacă cercul are centrul său cât mai apropiat de centrul real al pupilei și când raza sa atinge adevărata rază a pupilei.

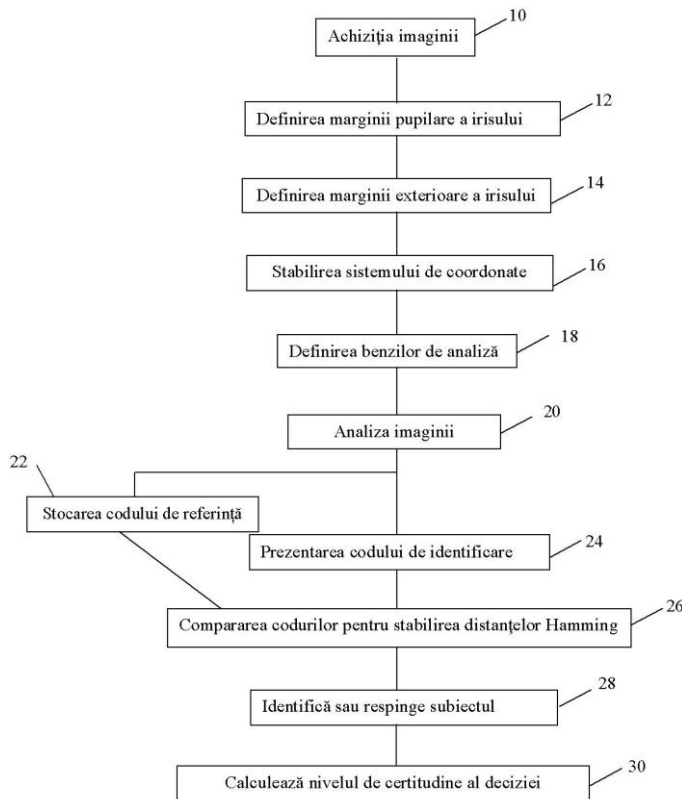


Fig. 1. Schema logică a procesului de identificare a persoanelor pe baza codului iris (12)

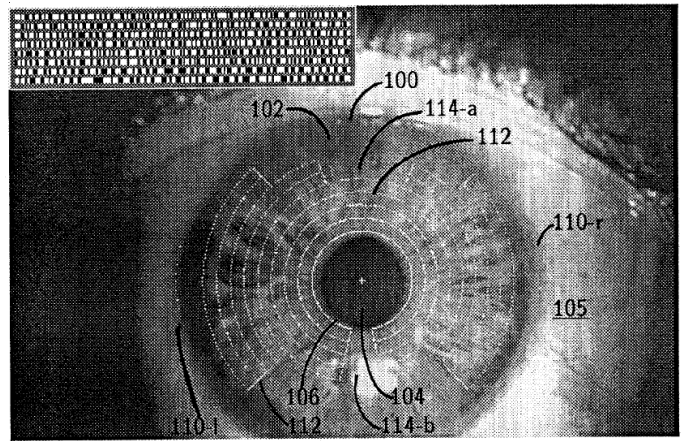


Fig. 2. O fotografie a unui ochi uman, suprapus cu cercurile de segmentare (12)

Tot așa, problema prelucrării imaginii pentru găsirea pupilei poate fi formulată ca o problemă de optimizare, în care seriile de „cercuri care explodează” (la care razele cresc în mod rapid) sunt poziționate cu coordonatele lor centrale situate la cel puțin unul din punctele de test de pe grilă. Pentru fiecare cerc „care explodează” și pentru fiecare valoare a razei sale, luminozitatea totală a imaginii este însumată pe un număr fix de puncte de pe conturul cercului. Folosind un număr constant de puncte pentru fiecare cerc, în mod normal 128, se înlătură creșterea automată în însumarea luminozității imaginii la creșterea circumferinței. Sistemul caută rata maximă de schimbare a acestei cantități în timp ce raza crește. Pentru cercul care descrie cel mai bine frontiera pupilei, va avea loc o „tranzicție” foarte rapidă în rata de schimbare a luminozității însumată pe perimetrul său, când raza sa atinge exact frontiera pupilei. Această tranziție va fi mult mai mare pentru un cerc care are coordonatele centrale identice cu cele ale pupilei, decât pentru toate celelalte cercuri. În acest fel, problema localizării precise a pupilei a fost convertită într-o problemă de optimizare, în care un spațiu format din trei parametri este căutat pentru cele mai bune coordonate ale centrului cercului (x_0, y_0) și a razei sale (r) .

Procedul poate fi descris matematic ca însumarea pe o integrală de contur a imaginii de intensitate, $I(x, y)$, de-a lungul arcului (ds) a unui cerc care are raza (r) și coordonatele centrului său sunt (x_0, y_0) ; apoi se trece la calculul derivatei parțiale a acestei cantități în raport cu r pe măsură ce raza crește. Valoarea absolută maximă a acestei derivate este căutată în spațiul de trei parametri (x_0, y_0, r) ([1]):

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left\| \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} I(x, y) ds \right\| \quad (1)$$

Derivata parțială în raport cu r poate fi netedă sau neclară, derivată pentru imunitatea la zgomot, și poate de asemenea fi convertită la un procent de schimbare (se divizează prin valoarea curentă a integralei) pentru o imunitate la zgomot crescută. Metoda are de asemenea o imunitate intrinsecă la zgomot, deoarece integrala de contur în mod firesc integrează datele pe un anumit contur, astfel încât orice

deviație în intensitatea pixelilor tinde să fie eliminată.

Procesul de căutare în spațiul celor trei coordonate este dirijat de creșterea gradientului sau „parcurea pantei ascendente”. Dacă o serie posibilă de cercuri la care raza crește constant se află parțial în interiorul pupilei, valoarea cantității definite în ecuația (1) va fi mai mare decât pentru alte cercuri. Cu cât centrul cercurilor concentrice este mai apropiat de centrul real al pupilei, cu atât va fi mai mare această cantitate. În mod similar, cantitatea din ecuația (1) va fi mai mare pentru cercuri de rază apropiată. Astfel, metoda poate găsi combinația optimă a celor trei parametri printr-un proces de căutare iterativ, în care mărimea de prag a schimbărilor celor trei parametri descrește cu fiecare iterație succesivă. Prin deplasarea în direcția cea mai bună (în care rata de ameliorare este cea mai mare) în spațiul celor trei parametri și prin alegerea mărimilor de prag proporționale cu rata de îmbunătățire și prin scăderea acestora cu fiecare iterație se ajunge la o convergență rapidă a metodei. În mod normal, după patru sau cinci iterații, valorile optime ale celor trei parametri pot fi determinate cu o eroare de doar un pixel. Valorile pentru (x_0, y_0, r) determină frontiera estimată a pupilei, la fel ca și originea sistemului de coordonate polare pentru analiza ulterioară a irisului.

Această metodă eficientă pentru găsirea și trasarea frontierei pupilare este la baza unui important dispozitiv de securitate împotriva impostorilor. O metodă evidentă prin care un utilizator poate încerca să treacă de un sistem de securitate bazat pe recunoașterea de iris ar fi prezentarea unei fotografii a ochiului altei persoane camerei de luat vederi sau chiar purtarea unor lentile de contact imprimare cu irisul altei persoane. Oricum, o proprietate importantă a ochiului real este faptul că diametrul pupilei prezintă mici oscilații („hippus”) o dată sau de două ori pe secundă, chiar și la o iluminare uniformă. O fotografie a unui iris sau a lentilelor de contact imprimare cu imaginea unui iris nu vor suferi astfel de variații în timp. Deoarece procesul descris mai sus de găsire și trasare a frontierei pupilei este atât de rapid, este posibil să fie captate câteva imagini succesive și să fie monitorizate dimensiunile pupilei în timp. O absență a oscilațiilor de tip „hippus” sau a altor mici variații în structura irisului în timp ar putea constitui o dovadă a faptului că o fotografie sau un simulacru al ochiului a fost prezentat, în locul unui iris real, și va indica o intenție de fraudă. Această facilitate de a face o diferență între un iris real și o fotografie sau un simulacru reprezintă un atu important în ceea ce privește securitatea, fiind posibilă prin mijloacele rapide pentru definirea și trasarea frontierei pupilei.

Din moment ce frontiera și centrul pupilei au fost determinate, următorul pas este localizarea frontierelor exterioare ale irisului, sau limb, unde acesta întâlnește sclerotica. O observație importantă care trebuie făcută este reprezentată de faptul că pupila nu este întotdeauna centrată cu irisul. Distanțele radiale înspre stânga sau dreptul limbului pot varia cu cel mult 20%, și, din acest motiv, amândouă distanțele trebuie să fie calculate pentru a genera un sistem de coordonate a irisului potrivit. O observație suplimentară este

reprezentată de faptul că pleoapele superioară și inferioară în mod general întunecă sau ascund frontierele superioare și inferioare ale irisului, și astfel aceste regiuni trebuie să fie excluse din analiza irisului.

B. Determinarea frontierelor exterioare ale irisului

Aceeași metodă generală a „cercurilor care explodează”, care a oferit o determinare exactă a frontierelor pupilare, poate fi folosită pentru găsirea frontierelor exterioare ale irisului, dar cu două modificări. În primul rând, fiind date regiunile din partea de sus și de jos ale pleoapelor care ascund o regiune din iris, metoda se reduce la doar două arce de cerc de-a lungul meridianului orizontal, unul înspre partea din stânga și unul spre dreapta (la 0° și 180°), fiecare subîntinzând $\pi/4$ radiani (45°). Distanțele la cele două frontiere (care se găsesc de o parte și de alta a irisului) sunt măsurate separat. În al doilea rând, din cauza structurii concentrice posibile din iris care poate produce un maxim în ecuația (1), integrala de contur utilizată mai înainte pentru determinarea frontierei pupilei poate fi înlocuită cu o integrală de suprafață care înlătură detaliile irisului în detectarea limbului. De fapt, „cercurile care explodează” sunt înlocuite de două „arce de cerc orizontale care explodează”, care încearcă să găsească pași în care iluminarea crește, acest lucru semnificând sclerotica. Ca și mai înainte, procesul de căutare rămâne unul de găsire a maximumului în rata de creștere a luminozității integrate pe măsură ce dimensiunea razei crește. După compensarea domeniului crescător al integrării luminozității, maximumul din această derivată în raport cu raza corespunde invariabil cu frontierele corecte din dreapta și stânga ale irisului.

Matematic, această operație este implementată prin căutarea valorii lui r (distanța între centrul pupilei și partea din stânga sau dreapta), care maximizează expresia [2]:

$$\max_{r \in [1.5r_0, 10r_0]} \frac{\partial}{\partial r} \int_{\rho=r-\delta}^{r+\delta} \frac{2}{\pi \delta r} \int_{\theta=\phi-\pi/8}^{\phi+\pi/8} I(\rho, \theta) \cdot \rho d\rho d\theta \quad (2)$$

unde r_0 este raza pupilei (calculată anterior), δ este o secțiune radială subțire (de obicei $0,1-r_0$), $I(\rho, \theta)$ reprezintă intensitățile imaginii, în acest moment exprimate în coordonatele polare ρ și θ , și ϕ egal cu 0 sau π , corespunzând fie părții din dreapta sau stânga, respectiv. S-a considerat utilă calcularea acestei expresii pentru valori ale lui r între $1,5r_0$ și $10r_0$ (adică între $1,5$ și 10 ori raza pupilei) în căutarea frontierelor exterioare ale irisului, acoperind în acest mod o mare arie de diametre relative ale irisului și pupilei. În mod similar, alegerea valorilor de $+\pi/8$ și $-\pi/8$ radiani ($22,5^\circ$) pentru unghiul arcului de integrare din ecuația (2) a demonstrat un util delimitator unghiular orizontal pentru sectoarele de cerc, astfel încât să se oculească pleoapele de sus și de jos. Rezultatele calculate din ecuația (2) sunt prezentate în figura 2 ca o serie de puncte albe, între $110-l$ și $110-r$ pe irisul 102, care corespund corect frontierelor din dreapta și din stânga ale irisului.

În concluzie, ecuația (1) găsește frontiera internă a irisului, adică frontiera pupilară. Această ecuație generează o serie de „cercuri care explodează” la diferite poziții ale

centrului, căutând iterativ o combinație a parametrilor (x_0 și y_0 pentru centru și raza r) pentru care luminanța integrată pe conturul cercului suferă valoarea cea mai mare a valorii de schimbare. De aici, se poate căuta valoarea maximă absolută a derivatei parțiale în raport cu r , a integralei de contur a luminescenței pe circumferința cercului. Această căutare acoperă spațiul dat de parametrii (x_0 , y_0 , r) într-un proces iterativ foarte eficient a ascensiunii gradientului. Ecuația (2) găsește frontiera exterioară a irisului, numită și limb, unde sclerotica albă începe. Același proces al „cercurilor care explodează” ca și în ecuația (1) funcționează, dar pentru: (i) ocluziile cauzate de pleoapele de sus și de jos; (ii) faptul că irisul este mai puțin uniform decât pupila și poate avea el însuși „cercuri care explodează” foarte mari, ceea ce ar putea face algoritmul descris de ecuația (1) să nu funcționeze.

Deci ecuația (2) specifică mai degrabă o serie de „arce de cerc care explodează” pe meridianul orizontal (evitând așadar pleoapele de sus și de jos) și integrează iluminarea din interiorul elipselor în locul cercurilor. Așadar, ecuația (2) specifică o integrală de suprafață în coordonate polare care este diferențiată în raport cu raza, în loc de o integrală de contur ca în ecuația (1).

Cu locațiile frontierelor irisului și ale pupilei stabilite și cu originea coordonatelor polare fixată în centrul pupilei, o serie de zone de analiză sunt atribuite regiunilor irisului. Acestea sunt definite concentric aflate la fracțiuni liniare fixate ale distanței radiale dintre pupilă și limb, oricare ar fi mărimea totală a irisului într-o imagine dată, pentru a asigura o invarianță în cadrul codului. Deci sistemul de coordonate polare pentru iris este fără dimensiuni atât în coordonatele unghiulare, cât și în cele radiale. Din moment ce irisul poate fi modelat aproximativ ca o fâșie de cauciuc, care se dilată și se contractă odată cu reflexul pupilar, textura și semnele sale distinctive se largesc și se strâng în mod asemănător. Aceste distorsiuni sunt eliminate prin utilizarea unei coordonate radiale care delimitează distanța dintre frontiera interioară a irisului (pupila) și cea exterioară. În acest fel un iris dat, în stadii diferite ale dilatării pupilei în diverse ocazii, ar trebui să genereze aproximativ același cod. Un al doilea scop atins de către acest sistem de coordonate fără dimensiuni este faptul că diferențele în mărimea totală a irisului, legate de achiziția imaginii de la diferite distanțe, nu vor schimba codul irisului calculat.

Din moment ce pupila nu este, în general, perfect centrată cu irisul în planul orizontal, este necesar ca fracționarea să fie bazată pe o combinație liniară a estimărilor coordonatelor din dreapta și stânga ale limbului, approximate sinusoidal de către unghi. Din cauza ocluziilor parțiale frecvente ale părții de sus a irisului provocate de pleoapa superioară și a reflecțiilor speculare care provin de la corneea care ascund părți inferioare ale irisului, aceste zone sunt excluse din analiză și codificare. O ilustrare a acestor din urmă zone de analiză, suprapuse peste o imagine a unui iris particular, pot fi văzute în figura 2.

În mod concret, porțiunea de iris care trebuie analizată este

mapată și subdivizată în benzile de analiză 112 (vezi figura 2). Aceste benzi de analiză sunt definite într-un sistem de coordonate polare special a cărui coordonată radială poate fi puțin distorsionată dacă, cum deseori se întâmplă, frontierele interioare și exterioare ale irisului nu sunt concentrice. Concret, pentru oricare coordonată unghiulară din jurul irisului, coordonata radială r a unui punct este definită de către fracția ei din distanța dintre frontiera pupilei și sclerotică, de-a lungul razei. Astfel, așa cum o coordonată unghiulară este (în mod clasic) o cantitate lipsită de dimensiuni cuprinsă între 0 și 360 grade, la fel și coordonata radială este fără dimensiuni în sistemul considerat, luând valori întotdeauna între 0 și 1, indiferent de mărimea totală a imaginii irisului și indiferent de gradul de dilatare al pupilei. Din acest motiv acest sistem de coordonate polare adimensional este în mod normal invariant la mărime (în acest fel compensându-se distanța dintre ochi și camera video). În mod similar, sistemul de coordonate compensează în mod firesc neconcentricitatea frontierelor dinspre interior și exterior ale irisului.

Patru trăsături speciale adiționale ale benzilor de analiză 112 sunt necesare pentru compensarea abaterilor imaginilor mai multor iriși de stereotipul ideal, inelar sau circular. În primul rând, din moment ce pupila 104 are ea însăși o frontieră neregulată, banda de analiză cea mai dinspre interior începe cu o rază de aproximativ 1,1 ori mai mare decât raza medie a pupilei, pentru a asigura excluderea integrală a pupilei. În mod similar, din moment ce tranziția de la irisul 102 la sclerotica 105 poate fi de asemenea neregulată și necirculară, iar banda cea mai dinspre exterior se întinde doar până la 80% din distanța spre frontiera externă a irisului (măsurată spre dreapta și stânga, cu o apreciere sinusoidală în unghiuri intermediare). În al treilea rând, adaptarea trebuie să fie făcută pentru ocluzii ale părții de sus și de jos ale irisului de către pleoape, și în al patrulea rând, pentru o reflexie speculară care poate acoperi o parte din iris în cazul în care este folosită o sursă de iluminare oblică (în mod normal dinspre partea de jos). Aceste trăsături „accidentale” sunt excluse prin restrângerea benzilor de analiză dinspre exterior la două conuri situate în jurul meridianului orizontal, în acest mod evitând ca regiunile acceptabile să fie ascunse de pleoapele de sus și de jos, și de altfel excluzând și porțiunile nefolosite din partea de jos cauzate de reflexii speculare. Aceste zone excluse din analiză sunt notate în figura 2 cu 114a și 114b. Este de preferat să se divizeze zona irisului în nu mai puțin de opt benzi rotunde 112 pentru analiză, la fracții radiale fixate ale distanței dintre frontierele interioară și exterioară, după cum au fost definite anterior.

Având definită cu o mare acuratețe porțiunea de imagine care este subiect al analizei, sistemul procesează apoi datele obținute din regiunea respectivă pentru a genera codul de identificare, după cum este descris și în blocul 20 din figura 1.

IV. CONCLUZII

În comparație cu brevetul lui Flom ([3]), Daugman afirmă în

patentul său ([2]) faptul că metoda nu depinde de dilatarea pupilei. Mai exact, din cauza coordonatelor radiale adimensionale care pur și simplu măsoară anumite fracțiuni ale distanței dinspre frontiera interioară spre cea exterioară a irisului, orice bucată dată a țesăturii irisului va cădea tot timpul în aceeași zonă de analiză, cu aceleași coordonate de poziție, neținând cont de cât de dilatat sau comprimat se întâmplă să fie irisul din cauza dilatării pupilei. Acest sistem de coordonate adimensional exploatează faptul că întinderea irisului poate fi aproximată ca întinderea unei bucăți de cauciuc, astfel încât semnele sale pot fi recuperate matematic într-o formă nedistorsionată deoarece sistemul de coordonate se restrânge cu o cantitate egală. Din acest motiv, textura irisului este întotdeauna codificată în mod esențial în același IrisCode (cod al irisului), neținând cont de gradul de dilatare al pupilei și de mărimea totală a imaginii irisului.

În concluzie, brevetul lui John Daugman reprezintă o transpunere matematică a metodei de determinare corectă a frontierelor irisului, dar la baza acestui brevet stă descoperirea cercetătorilor Flom și Safir.

MULȚUMIRI

Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul "Performanță sustenabilă în cercetarea doctorală și post doctorală - PERFORM", Contract nr. POSDRU/159/1.5/S/138963", proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Daugman, J., *How iris recognition works*, Proceedings of 2002 International Conference on Image Processing, Vol. 1, 2002.
- [2] Daugman, J., *Biometric personal identification system based on iris analysis*, United States Patent, Patent Number: 5.291.560, 1994.
- [3] Flom, Leonard, Safir, Aran, *Iris recognition system*, United States Patent, Patent Number: 4.641.349, 1987
- [4] Daugman, J., *High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 15, No. 11, 1993. Doi 10.1109/34.244676
- [5] Daugman, J., *Biometric decision landscapes*, Technical Report No. TR482, University of Cambridge Computer Laboratory, 2000 .
- [6] Daugman, J., *Two-dimensional spectral analysis of cortical receptive field profiles*, Vision Res. 20 (1980) 847-856.
- [7] Daugman, J., *Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters*, J. Opt. Soc. Am. A2 (1985) 1160-1169.
- [8] Daugman, J., *Complete discrete 2D Gabor transforms by neural networks for image analysis and compression*, IEEE Trans. Acoustics; Speech Signal Processing 36 (1988) 1169-1179.
- [9] Daugman, J., Downing, C.J., *Demodulation, predictive coding; and spatial vision*, J. Opt. Soc. Am. A12 (1995) 641-660.
- [10] Colescu, C., Lupu, C., *Edge detection methods based on filtering followed by application of differential operators for iris*, Journal of Applied Computer Science & Mathematics, no. 12 (6) / 2012, p. 18-23
- [11] Lupu, V., Lupu, C., *Software used for personal identification and recognition based on iris patterns*, 2nd Romanian-Hungarian Joint Symposium on Applied Computational Intelligence, SACI 2005, p. 200-225
- [12] Lupu, C., *Edge detection methods based on filtering followed by application of differential operator for iris*, The Annals of the "Stefan cel Mare" University of Suceava, Fascicle of the Faculty of Economics and Public Administration, vol. 11, no. 2, 2011, pag. 258-264