

Stadiul actual privind recunoașterea persoanelor după iris și amprentă

- raport de cercetare nr. 1 -

**Coordonator științific,
prof. univ. dr. ing. Vasile-Gheorghică GĂITAN**

**Doctorand,
ing. Cătălin LUPU**

**Suceava
- 2015 -**



Investește în oameni !

FONDUL SOCIAL EUROPEAN

Proiect cofinanțat din Fondul Social EUROPEAN prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

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

Axa prioritară 1 - Educația și formarea profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere

Domeniul major de intervenție 1.5 - „Programe doctorale și postdoctorale în sprijinul cercetării”

Introducere

Biometria, termen derivat din cuvintele grecești bios (viață) și metrikos (măsură), reprezintă un complex de metode automatizate destinate identificării unei persoane folosind unele caracteristici biometrice (geometria palmelor, amprenta digitală, irisul, retina, geometria feței, greutatea corpului, presiunea sanguină, etc.) sau comportamentale (timbrul vocal, configurația ADN, dinamica scrisului, scanarea semnături, dinamica acționării tastelor, etc.) ale acesteia, știut fiind faptul că unele dintre aceste caracteristici biometrice, de exemplu amprente digitale sau irisul, ori comportamentale, de exemplu timbrul vocal, pot identifica în mod unic o persoană. Dată fiind această unicitate, informațiile biometrice pot fi folosite pentru proiectarea și implementarea unor tehnologii, echipamente și sisteme destinate diseminării identității cu performanțe mult superioare celor existente.

Una dintre cele mai cunoscute caracteristici biometrice este reprezentată de amprenta digitală, savantul britanic Sir Francis Galton fiind primul care a propus utilizarea amprentei degetelor în scopul identificării, de asemenea în secolul al XIX-lea. Acesta a elaborat un studiu detaliat asupra amprentelor degetelor în care a prezentat și un sistem de clasificare bazat pe amprente tuturor celor zece degete ale mâinilor, sistem ce stă și astăzi la baza schemelor de identificare aflate în uz; amprentarea a fost introdusă ca metodă de identificare a persoanei în poliția britanică începând cu anul 1890 de către Sir Richard Edward Henry.

În termenii tehnologiei informației, biometria este asociată tehnologiilor și tehnicilor destinate securității și confirmării identității pe baza unor caracteristici biologice individuale, măsurabile ale persoanei. De exemplu, amprente digitale, geometria mâinii, geometria feței, amprenta (codul) irisului sau a retinei, timbrul vocal pot fi utilizate în sisteme și scheme destinate accesului la un computer, într-o anumită încăpere și, de ce nu, la un cont bancar.

Identificarea automată a persoanei reprezintă procesul prin care un sistem biometric asociază o persoană unei identități specifice, acest lucru putându-se realiza în termenii verificării sau recunoașterii. În cadrul procesului de verificare, sistemul numai autentifică o identitate pretinsă; cu alte cuvinte sistemul verifică dacă o persoană este cine pretinde că este. În cadrul recunoașterii crește complexitatea procesului, sistemul determinând identitatea persoanei prin consultarea unei baze de date sau prin testarea unei rețele neuronale cu informații despre persoane, cu alte cuvinte, sistemul determină cine este persoana respectivă fără ca aceasta să precizeze un nume ori alte informații de identificare.

Proiectarea unui sistem de verificare este mult mai simplă decât a unui de recunoaștere a identității. Un sistem de verificare autentifică identitatea pretinsă de persoană prin compararea trăsăturilor biologice particulare furnizate de aceasta la un anumit moment cu măsurile acestor trăsături memorate anterior în sistem și asociate identității pretinse de persoană; de exemplu, amprenta degetului inelar a unei persoane ce pretinde a fi Popescu este comparată cu amprenta degetului inelar a lui Popescu memorată anterior într-o bază de date sau într-o rețea neuronală a sistemului. Spre deosebire de sistemul de verificare, sistemul de recunoaștere are o complexitate procedurală mai crescută, trăsăturile biometrice furnizate de o persoană fiind comparate cu măsurile tuturor trăsăturilor biometrice similare stocate într-o bază de date sau într-o rețea neuronală. De exemplu, amprenta unei persoane ce dorește accesul într-o cameră cu destinație specială este comparată cu amprente tuturor persoanelor autorizate să intre în acea încăpere. Un alt exemplu concludent îl constituie accesul neautorizat într-un autoturism personal. Există sisteme anti-fraudă utilizate pentru protejarea și furtul autoturismului sau a bunurilor aflate în interiorul său. Sistemul cuprinde sisteme senzoriale complexe (de tip web-cam) amplasate în interiorul/exteriorul mașinii, iar atunci când cineva dorește să pătrundă în interiorul autovehiculului, este verificat dacă are acces să pătrundă sau nu; persoanele care au acces în acel autovehicul au codul irisului memorat într-o

bază de date; dacă persoana are codul în baza de date i se permite să deschidă ușile sau să pornească motorul, altfel, se transmit frame-uri la Poliție, firme de pază sau la proprietarul autovehiculului și se intervine în timp util.

Un sistem biometric este, în esență, un sistem de recunoaștere a unor șabloane prin intermediul cărora este posibilă identificarea, aceasta fiind realizată prin stabilirea autenticității unor caracteristici biologice și/sau comportamentale ale utilizatorului, a persoanei identificate. Din punct de vedere logic, un sistem biometric poate fi divizat în două unități funcționale, module: un modul de înregistrare (enrollment) și unul de identificare.

Modulul de înregistrare pregătește datele ce vor fi utilizate în sistem în vederea identificării persoanei, pe durata procesului scanându-se de către unul sau mai mulți senzori anumite caracteristici biometrice, de exemplu amprentele digitale și irisul, în vederea obținerii digitale ale acestora. Ulterior, un program care este o componentă software cunoscută drept extractor de caracteristică, procesează reprezentările digitale achiziționate de senzori pentru a genera forme compactizate ale acestora, denumite șabloane (template) care, dacă trăsăturile biometrice scanate sunt amprentele digitale și irisul, pot conține vârfuri de creste sau bifurcații (amprenta digitală) sau codul pentru iris. Șablonul fiecărui utilizator este memorat într-o bază de date, într-o rețea neuronală sau pe un smart card (o cartelă inteligentă din plastic ce conține un microcip și care poate stoca date cu caracter personal), caz în care cardul este înmănat utilizatorului. Pentru a fi identificat drept utilizator valid, deținătorul cardului trebuie să aibă aceleași caracteristici cu cele memorate pe card.

Modulul de identificare realizează recunoașterea persoanei. Pe durata identificării este scanată trăsătura bimetrică a persoanei ce trebuie identificată și convertită într-o reprezentare digitală cu un format identic cu cel al șablonului folosit pentru memorarea în baza de date sau în rețeaua neuronală. Această reprezentare este, prin intermediul unuia sau a mai multor programe, cunoscută sub denumirea de comparator de caracteristici, comparat cu șablonul memorat într-o bază de date sau într-o rețea neuronală.

Un sistem de identificare va aprecia persoana drept corect identificată în momentul în care reprezentările trăsăturii scanate și șablonul memorat sunt identice, altfel persoana va fi respinsă.

Un sistem de recunoaștere va aloca utilizatorului identitatea asociată șablonului din baza de date sau din rețeaua neuronală care a corespuns reprezentării trăsăturii scanate; dacă reprezentarea nu corespunde nici unuia dintre șabloane, persoana va fi rejectată.

Limitările și problemele pe care le ridică sistemele de verificare **biometrică unimodale** ar fi următoarele:

- Lipsa de universalitate a unor caracteristici (de exemplu în cazul amprente digitale în jur de 4% dintre persoane nu se pot înrola din cauza unor slabe amprente, iar în cazul irisului aproximativ 7%);
- Semnale zgomotoase captate de la senzori datorită folosirii incorecte a sistemului de către clienți și a condițiilor ambientale (umiditate, murdărie, praf, etc.),
- Lipsa de siguranță a senzorilor folosiți;
- Limitarea discriminării sistemelor biometrice datorită unei vulnerabilități „in-class” destul de mari și „inter-class” reduse;
- Performanțele de recunoaștere ale sistemelor sunt limitate superior la un anumit nivel;
- Rate de erori neacceptabile pentru sistemele biometrice unimodale;
- Lipsa de permanență - variabilitatea în timp a caracteristicilor biometrice;
- Posibilitățile de fraudare prin clonarea voluntară sau involuntară a unor caracteristici biometrice.

Sistemele biometrice multimodale pot fi văzute din mai multe puncte de vedere. Astfel, în cazul celor bazate pe amprentă, acestea pot fi:

- Sisteme multisenzor (optic, capacitativ, pe bază de chip, etc.);
- Sisteme multi – metodă – folosesc mai multe metode de comparare a vectorilor de test cu referințele (bazate pe caracteristicile amprentelor - vârful de creastă sau birfurcațiile - sau pe filtrare);
- Sisteme multicaracteristică – se folosesc amprente de la mai multe degete;
- Sisteme multi-captură – se prelevează eşantioane ale aceleiași caracteristici biometrice (de exemplu aceeași amprentă se ia de mai multe ori);
- Sisteme multiverificator – se utilizează mai multe caracteristici biometrice (amprentă digitală, iris, etc.)

Acest raport de cercetare este structurat pe patru capitole, după cum urmează:

Capitolul I – „Biometria – o nouă metodă de autentificare a persoanelor” reprezintă o introducere în domeniul tehnologiilor biometrice. Principala contribuție este dată de prezentarea unitară și detaliată a noțiunilor de biometrie. Se prezintă funcționarea sistemelor biometrice, diferențele între verificare și autentificare, performanțele unui sistem biometric și aplicații ale biometriei. În continuare, se prezintă cele mai importante caracteristici biometrice, cu trăsăturilor lor definitorii (fizionomia, tehnici antropometrice, amprente papilare, imaginea irisului și a retinei, termograma facială, recunoașterea vocală, dinamica semnăturii, ADN-ul și elementele artificiale de identificare). Capitolul poate reprezenta un punct de start în studierea acestui domeniu, având în vedere faptul că bibliografia în limba română în acest domeniu este ca și inexistentă.

Capitolul II – „Recunoașterea persoanelor după amprenta digitală” urmărește parcursul utilizării amprentelor digitale de la sistemele manuale de clasificare și regăsire, la cele automate folosite în prezent. Sistemele manuale [PACO1] realizau o clasificare pe tipuri de detalii: arce, spirale, cercuri, erau divizate în grupe și subgrupe și repartizate în dosare sau sertare diferite. Desigur că probabilitatea unei erori era foarte mare, atât la prelevare, cât și la catalogare și regăsire, iar efortul uman imens.

Capitolul III – „Recunoașterea persoanelor după iris” prezintă informații despre senzori, echipamente și în special metode utilizate pentru identificarea sau recunoașterea indivizilor după caracteristicile irisului.

Capitolul IV – „Concluzii” prezintă principalele concluzii ale acestui raport de cercetare, precum și direcțiile viitoare de dezvoltare ale acestui domeniu.

Raportul se încheie cu prezentarea bibliografiei care a stat la baza redactării acestuia.

Cuprins

CAPITOLUL I.....	1
BIOMETRIA – O NOUĂ METODĂ DE AUTENTIFICARE A PERSOANELOR	1
1.1. Introducere	2
1.2. Funcționarea sistemelor biometrice	7
1.2.1. Modulul senzorului	7
1.2.2. Modul de evaluare a calității și de extragere a caracteristicilor.....	7
1.2.3. Modulul de potrivire și luare a unei decizii	8
1.2.4. Modulul bazei de date.....	8
1.3. Verificarea și identificarea.....	9
1.4. Performanțele unui sistem biometric	11
1.5. Aplicații ale biometriei	16
1.6. Caracteristici biometrice esențiale.....	19
1.6.1. Fotografia și fizionomia.....	22
1.6.2. Tehnici antropometrice	23
1.6.3. Ampretele papilare.....	24
1.6.4. Imaginea retinei	27
1.6.5. Imaginea irisului	27
1.6.6. Termograma facială	28
1.6.7. Recunoașterea vocală.....	29
1.6.8. Dinamica semnăturii	30
1.6.9. Amprenta ADN.....	31
1.6.10. Elemente artificiale de identificare	34
CAPITOLUL II.....	35
Stadiul actual al recunoașterii persoanelor după amprenta digitală.....	35
2.1. Introducere	35
2.1.1. Structura pielii și formarea creștelor papilare.....	35
2.1.2. Proprietățile desenelor papilare	37
2.1.3. Structura desenelor papilare.....	38
2.1.4. Tipurile, subtipurile și varietățile desenelor papilare.....	42
2.2. Senzori utilizați în vederea preluării imaginilor brute ale amprentelor papilare	46
2.3.3.1.1. Extragerea caracteristicilor din imaginile amprentelor bazată pe orientarea fluxului adaptiv	55
2.3.3.2.1. Extragerea punctelor de detaliu din imagini binare scheletonizate după lucrarea Farina ș.a.	65
CAPITOLUL III	79
Stadiul actual al cercetărilor referitoare la recunoașterea persoanelor după iris	79
Capitolul IV	113
Concluzii și direcții viitoare de cercetare	113
4.2. Direcții viitoare de cercetare privind tehnologiile biometrice	114
Bibliografie	115

CAPITOLUL I

BIOMETRIA – O NOUĂ METODĂ DE AUTENTIFICARE A PERSOANELOR

Nevoia pronunțată de a determina sau verifica identitatea persoanelor a dus la creșterea importanței cercetării în domeniul autentificării biometrice. Autentificarea biometrică reprezintă știința stabilirii unei identități, bazându-se pe atributele fizice sau comportamentale ale unui individ, dintre acestea făcând parte amprenta, fața, vocea, mersul, irisul, semnătura, geometria mâinii, urechea, etc. Devine din ce în ce mai evident faptul că o singură trăsătură biometrică (folosită într-un sistem unibiometric) nu este suficientă pentru a atinge anumite cereri importante ale sistemului – incluzând performanța de potrivire – impuse de multe aplicații de autentificare la scară largă. Sistemele multibiometrice vin să elimine oarecum neajunsurile întâmpinate de sistemele unibiometrice prin luarea probelor necesare pentru identificarea persoanelor de la multe surse biometrice. Aceste sisteme pot îmbunătăți în mod evident performanțele de recunoaștere ale unui sistem biometric, în același timp asigurând și acoperirea populației, deturnarea atacurilor asupra sistemelor, și reducând rata de eroare la înregistrare (failure-to-enroll rate - FER). Deși necesitățile de stocare, timpul de procesare și cerințele de calcul ale unui sistem multibiometric pot fi în mod semnificativ mai mari decât în cazul unui sistem unibiometric, avantajele menționate anterior reprezintă un motiv suficient de puternic pentru implementarea sistemelor multibiometrice în sisteme de autentificare la scară largă (de exemplu, pentru controlul pasagerilor la trecerea frontierei de stat) și în sisteme care necesită rate de acuratețe foarte mari (de exemplu, accesul într-o bază miliară securizată).

Dominiul multibiometricii a avut o creștere foarte rapidă și importantă în ultimii câțiva ani. Această creștere a fost alimentată și de către hotărâri ale guvernului american, care a stipulat utilizarea metodelor biometrice de recunoaștere pentru furnizarea unor funcții sociale foarte importante. Programul US-VISIT (United States Visitor and Immigration Status Indicator Technology) este un sistem de securizare a procesului de trecere a frontierei americane, care validează documentele de călătorie ale cetățenilor străini în Statele Unite. În momentul de față, amprentele degetelor index de la ambele mâini sunt folosite pentru a asocia o viză cu un individ care intră în Statele Unite. Pe viitor, toate cele zece degete, ar putea fi folosite, în acest fel fiind nevoie de dezvoltarea unui sistem mai fiabil de prelevare a datelor, precum și de algoritmi de fuzionare a caracteristicilor. Acest proces a început pe 29 noiembrie 2007, primul aeroport pe care se fac astfel de teste fiind Washington Dulles International Airport. Organizația Aviației Civile Internaționale (International Civil Aviation Organization – ICAO) a recomandat ca statele sale membre să folosească documente de călătorie care pot fi citite de un dispozitiv electronic (Machine Readable Travel Documents – MRTD) care să încorporeze cel puțin fața ca identificator biometric (pot fi de asemenea folosite anumite combinații între față, amprentă și iris) pentru stabilirea identității deținătorului unui pașaport. Astfel, cercetarea în tehnologiile multibiometrice are posibilitatea să influențeze multe aplicații pe scară largă, civile sau comerciale.

Din punct de vedere academic, cercetarea în multibiometrie are diverse aspecte:

- identificarea surselor informației biometrice;
- determinarea tipurilor de informație care pot fuziona;
- designul unor metode optime de fuzionare;
- evaluarea și compararea diverselor metode de fuzionare;
- crearea de interfețe multimodale robuste care să faciliteze achiziția eficientă a datelor multibiometrice.

1.1. INTRODUCERE

După evenimentele petrecute în New York în ziua de 11 septembrie 2001, sensul controlului accesului în sistem s-a schimbat radical, atât prin prisma *mijloacelor de exercitare*, cât și a *domeniilor de aplicare*. În privința mijloacelor, dominantă a fost discuția de la sfârșitul anilor '90, dacă trebuie să se introducă sau nu sistemele de identificare biometrică a persoanelor, făcându-se asocierea cu luarea amprentelor digitale doar pentru elucidarea unor cazuri criminale. Opoziția cea mai puternică venea din partea sistemului bancar, dar nu numai. Alte instrumente păreau incomode sau periculoase și, ca atare, erau refuzate în serie. După data susmenționată lucrurile s-au schimbat radical în privința identificării biometrice - tendința ce va fi demonstrată într-un paragraf distinct al prezentului capitol.

Domeniile de aplicare s-au extins, totul venind din convingerea intimă a proprietarilor și administratorilor de sisteme, evidențiindu-se astfel și alte modalități de verificare a persoanelor ce doresc accesul în mai toate instituțiile prezidențiale, guvernamentale și altele de tip public sau privat, iar aeroporturile și-au extins zonele supuse unei atenții speciale.

Nici sistemele informaționale nu au rămas aceleași. Doar simpla trimitere la ceea ce a realizat Microsoft pe linia securizării este destul de elocventă, căci aproape orice mișcare a personalului este sub control, apelându-se la dependența totală a acestuia de carduri speciale. Se poate spune că, în sistemele distribuite de prelucrare a datelor, dar și în cele centralizate, se impun sisteme performante de control al accesului. Românul spune „paza bună *alungă* primejdia rea”, ceea ce ar putea să evidențieze o bună înțelegere a *amenințărilor* la care este expus un sistem, a *vulnerabilităților* lui, dar și a *riscurilor* ce-i sunt asociate, îndeosebi pe linia infrastructurii sistemelor, de aici rezultând o bună identificare a *măsurilor preventive* și *detective* de contracarare a lor.

Când au fost dezvoltate primele tehnici biometrice, cu decenii în urmă, acestea erau prea scumpe și complexe, fiind folosite numai la aplicații militare de înaltă securitate.

Situația însă, s-a schimbat dramatic datorită progresului tehnologiei informatice și, totodată, creșterii explozive a fraudelor (se estimează că anual, în SUA, prin fraudări se produc pierderi de 500 milioane USD la ATM, la cecuri circa 2 miliarde dolari iar la cartelele de credit peste 1.5 miliarde USD).

Specialiștii în domeniu apreciază că folosirea PIN și a parolelor, cele mai aplicate metode de identificare folosite de tehnologia informatică actuală, sunt de mult depășite și celelalte forme de identificare clasice suferă de lipsuri importante. S-a demonstrat că, cel puțin în Statele Unite, este suficientă falsificarea unui document de identitate mai puțin protejat (de exemplu, permisul de conducere), falsificare care poată fi urmată de obținerea perfect legală a tuturor celorlalte documente de identitate.

Pentru identificare sunt folosite în mod tradițional o serie de caracteristici fiziologice. Astfel, descrierea fizionomiei și a semnelor particulare, întâlnite la pașapoarte, este destul de grosieră și arareori este suficient de sigură pentru a identifica categoric o persoană. La cealaltă extremă, există tehnicile criminalistice invazive, bazate pe radiografii dentare și ale scheletului.

Un sistem fiabil de management al identității este o componentă esențială în multe aplicații care doresc să furnizeze anumite servicii doar utilizatorilor care sunt înregistrați în mod legitim. Astfel de aplicații pot fi, de exemplu, partajarea resurselor unui calculator într-o rețea, acordarea accesului la facilități nucleare, realizarea de tranzacții financiare la distanță, sau controlul la intrarea într-o anumită țară. Dezvoltarea serviciilor bazate pe Internet (de exemplu, cele care se referă la cardurile de credit) au determinat nevoia de îmbunătățire continuă a sistemelor de management al identității.

Sarcina cea mai importantă într-un sistem de management al identității este reprezentată de determinarea (sau verificarea) identității unei anumite persoane (sau a identității pretinse de respectiva persoană). O astfel de acțiune poate fi necesară pentru o multitudine de motive, dar în primul rând, în cele mai multe aplicații, se referă la a preveni accesul răufăcătorilor la resurse protejate. Metodele tradiționale de stabilire a identității unei persoane includ mecanisme bazate pe cunoaștere (de exemplu, parolele) sau bazate pe token-uri (de exemplu, carduri de acces), dar aceste reprezentări surogat ale identității pot fi foarte ușor pierdute, împrumutate, uitate, manipulate sau furate, determinând în acest fel nerealizarea securității dorite a sistemului. Biometria oferă o soluție naturală și fiabilă pentru anumite aspecte ale managementului identității, prin utilizarea unor scheme de recunoaștere – total sau semi-automate – de recunoaștere a persoanelor funcție de caracteristicile lor fizice sau comportamentale. Prin utilizarea biometriei este posibilă stabilirea identității bazându-se pe *cine este persoana*, în loc de *ceea ce posedă* (cum ar fi o cartelă de acces) sau pe *ceea ce își amintește* (de exemplu, un utilizator și o parolă). În figura 1.1 se prezintă metodele tradiționale de recunoaștere a persoanelor, iar în figura 1.2 sunt prezentate unele metode biometrice. În unele aplicații, biometria poate fi combinată cu cartelele de acces sau cu parolele pentru a crea un nivel mai mare de securitate. O astfel de metodă este denumită de obicei schemă de autentificare compusă din doi factori. Totuși, biometria nu trebuie să înlocuiască token-urile și parolele în toate aplicațiile, în special la cele unde nivelul de securitate nu este o cerință de design al sistemului.

Eficacitatea unui autentificator (biometric sau ne-biometric) se bazează pe robustețea sa referitoare la diferite tipuri de atacuri, precum și relevanța sa referitoare la o anumită aplicație particulară.

Există mai multe tipuri de atacuri care pot fi lansate împotriva unor sisteme de autentificare bazate pe parole și token-uri. Dintre cele mai importante ar fi:

- atacuri la nivelul clientului (ghicirea parolelor, furtul token-urilor);
- atacuri la nivelul serverului (accesarea unor fișiere text care conțin parole);
- respingerea (de exemplu, susținerea faptului că token-ul nu a fost pus corect);
- atacuri bazate pe cai troieni (instalarea de programe de înregistrare în sistem, cu scopul de a fura parole);
- refuzul serviciului (blocarea unui cont în mod intenționat prin tastarea unei parole greșite de mai multe ori).



(a)

(b)

(c)

Figura 1.1. Scheme tradiționale de recunoaștere bazate pe (a) cartele de acces, (b) chei și (c) parole

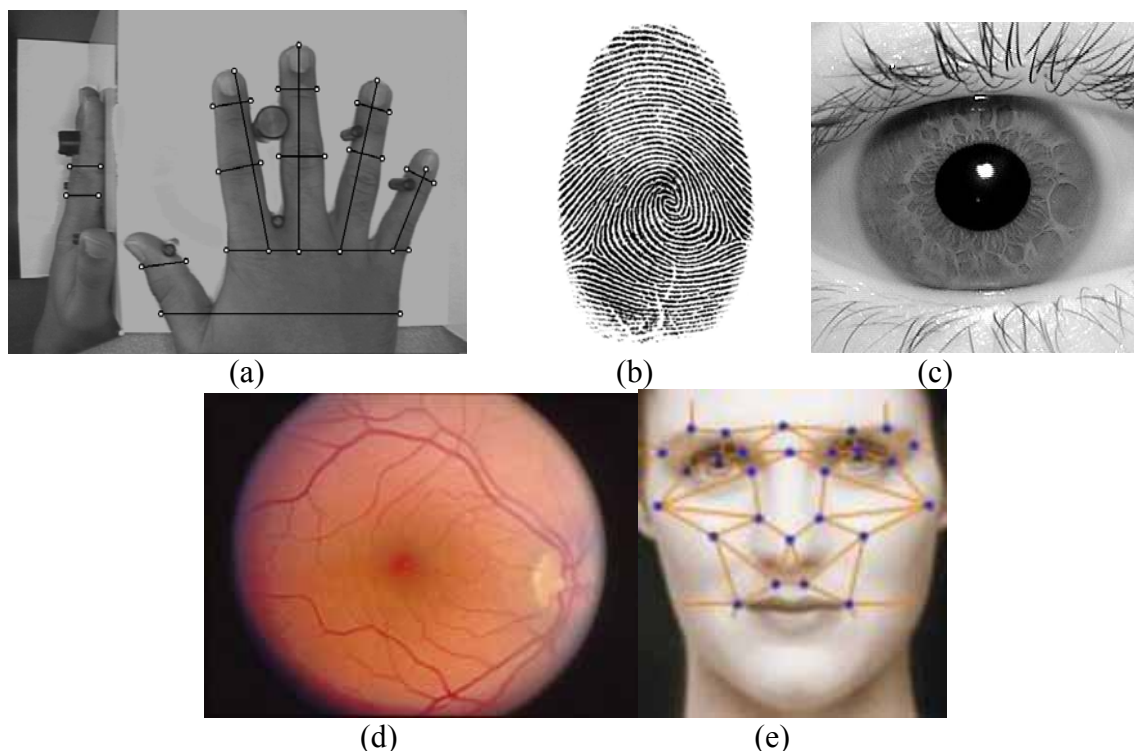


Figura 1.2. Metode de recunoaștere a persoanelor după (a) geometria mâinii, (b) amprentă, (c) iris, (d) retină și (e) fizionomia feței

În timp ce unele dintre aceste atacuri pot fi contracarate prin realizarea de mecanisme de protecție corespunzătoare, totuși nu este posibil să se rezolve toate problemele legate de utilizarea parolelor și a token-urilor.

Biometria poate oferi anumite avantaje – cum ar fi recunoașterea negativă sau nerepudierea – care nu pot fi asigurate cu ajutorul token-urilor și al parolelor. Recunoașterea negativă reprezintă procesul prin care un sistem determină dacă o anumită persoană este într-adevăr înregistrată în sistem, deși persoana ar putea să nu recunoască acest lucru.

Nerepudierea reprezintă o metodă de garantare a faptului că o anumită persoană care accesează o anumită facilitate nu va nega mai târziu că a utilizat respectiva resursă (de exemplu, o persoană accesează o anumită resursă a unui sistem de calcul, iar apoi susține că un impostor a folosit resursa respectivă).

Sistemele biometrice utilizează o mare varietate de caracteristici fizice sau comportamentale (după cum se poate remarca și din figura 1.3), între acestea regăsindu-se amprente, fața, geometria mâinii sau a degetelor, irisul, retina, semnătura, mersul, amprenta palmară, urechea, structura de vene a mâinilor, mirosul sau ADN-ul. În literatura de specialitate, aceste caracteristici sunt adesea numite *trăsături*, *indicatori*, *identificatori* sau *modalități*. Deși sistemele biometrice au propriile limitări, totuși ele au un mare avantaj în fața metodelor de securitate tradiționale, în sensul că nu pot fi foarte ușor furate sau partajate.

Utilizarea trăsăturilor biologice pentru confirmarea identității unui individ nu reprezintă un concept nou. La sfârșitul secolului al XIX-lea, Alphonse Bertillon, un ofițer de poliție din Franța, a descoperit un sistem de identificare a persoanelor care asociază un set de măsurători antropometrice unui anumit individ.

Bertillon ([BERT1], [BERT2]) a demonstrat că, notându-se mai multe dimensiuni ale corpului uman, de exemplu: talia, lățimea, înălțimea, circumferința capului, înălțimea urechii drepte, lungimea anumitor falange și a altor oase de la mâna stângă, ar fi fost aproape

imposibil să se găsească doi indivizi cu absolut toate dimensiunile la fel. Prin aceasta el a rezolvat, pentru etapa de atunci, problema înregistrării penale a infractorilor.

România s-a situat printre primele țări din lume care a adoptat sistemul de identificare conceput de Bertillon. Sub conducerea prof. dr. Mina Minovici ([PACO1]), fondatorul Școlii românești de medicină legală și inițiator al Institutului de medicină legală, la 15 martie 1892, pe lângă organele poliției din Capitală, ia naștere în România primul sistem științific de înregistrare a infractorilor.

Antropometria (din grecește, „anthropos” – om, „metron” – măsură), cu toată răspândirea fulgerătoare în toate polițiile Europei, nu a avut o perioadă prea mare de viață, dezvoltându-și repede neajunsurile și posibilitățile de eroare pe care le genera aplicarea ei, dar a constituit totuși o revoluție în identificarea persoanelor, fiind primul sistem ce punea amprenta unei activități metodice și științifice, demonstrându-se că și în acest domeniu se pot folosi cu succes descoperirile celorlalte științe.

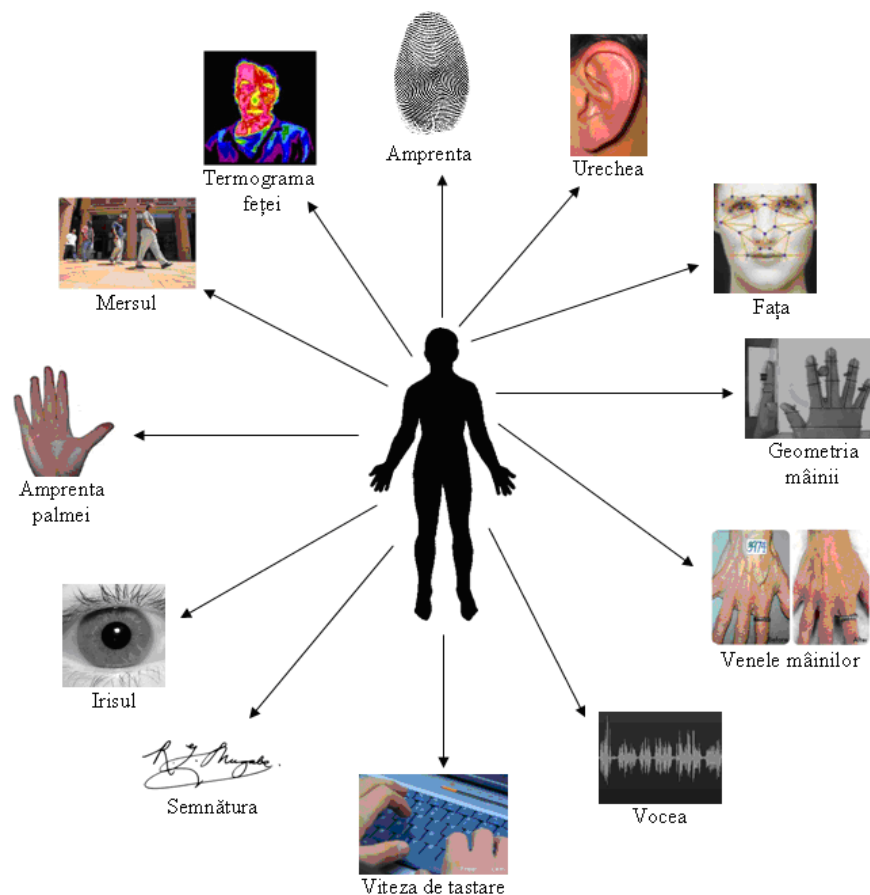


Figura 1.3. Metode biometrice (după [RONAJA1])

Dintre imperfecțiunile cele mai importante pe care le prezenta antropometria, pot fi enunțate următoarele:

- instabilitatea parametrilor corpului omenesc (nu era aplicabilă la copii și adolescenți);
- subiectivismul în măsurarea părților corpului omenesc, întrucât antropologii din poliție nu așezau instrumentul de măsură în același punct;
- decalcifierile – datorate bătrâneții, unor boli sau a traumatismelor – provocau modificarea dimensiunilor scheletului uman.

În figura 1.4 sunt prezentate principalele caracteristici antropometrice luate în considerare pentru aplicarea metodei lui Bertillon ([BERT1]).

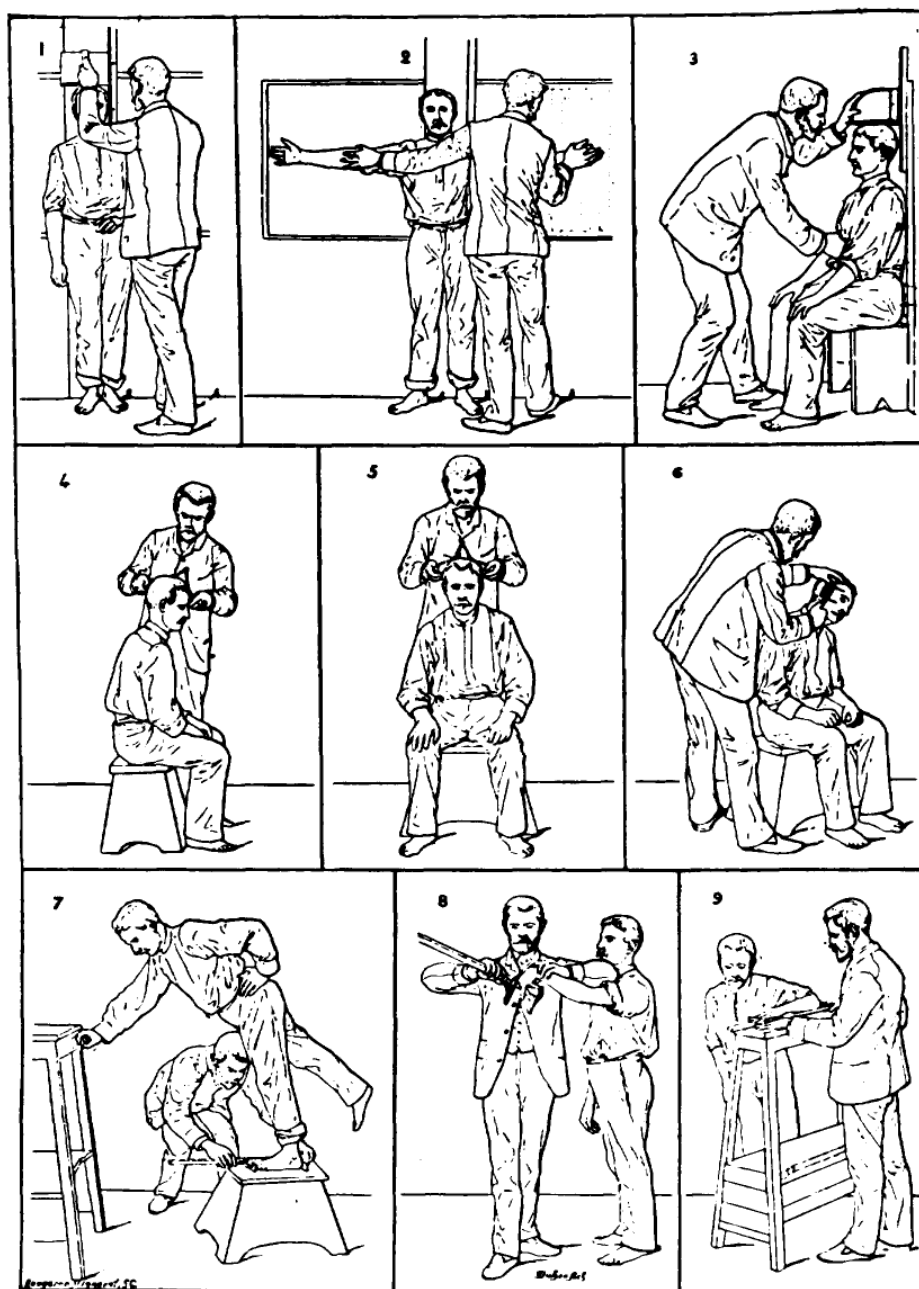


Figura 1.4. Semnalmente antropometrice (după [BERT1] și [BERT2])

1 – Talia ; 2 – Anvergura ; 3 – Bustul

4 – Lungimea capului; 5 – Lățimea capului; 6 – Urechea dreaptă

7 – Piciorul stâng; 8 – Degetul median stâng; 9 – Cotul stâng

De asemenea, sistemul lui Bertillon mai cuprinde o descriere morfologică a formei corpului și o listă a semnelor particulare cum ar fi cicatrici, tatuaje sau alunițe. Aceste măsurători erau înregistrate pe o fișă și depuse într-un depozit central, care era împărțit în mai multe categorii bazate pe măsurătorile efectuate. Această abilitate de indexare permitea găsirea foarte rapidă a fișei unui individ când era constatată o nouă încălcare a legii de către poliție. Totuși, sistemul era destul de greu de administrat în mod uniform. De aceea a fost abandonat, în favoarea metodei recunoașterii după amprentă, ai cărei pionieri au fost Henry Faulds (1880), William Herschel (1888) și Sir Francis Galton (1888).

Apariția procesării digitale a semnalelor a dus la dezvoltarea de sisteme automate în anii '60-'70, care erau capabile să proceseze date despre *amprenta digitală* (Trauring, 1963;

Graselli, 1969; Shelman, 1967), *vocea* (Kersta, 1962; Pruzansky, 1963; Luck, 1969), *geometria mâinii* (Ernst, 1971; Miller, 1971; Jacoby și alții, 1972) și *fizionomia feței* (Kanade, 1973).

Dezvoltarea foarte rapidă a sistemelor de calcul și îmbunătățirea performanțelor senzorilor de captare a informației biometrice, împreună cu progresul în domeniul recunoașterii formelor și a sistemelor de captare a imaginilor, au dus la apariția unor scheme sofisticate de procesare și potrivire a datelor biometrice a mai multor caracteristici, printre care irisul, retina, mersul și semnătura. Mai mult chiar, progresul în modelarea 3D conduce la o procesare a datelor biometrice tridimensionale, cum ar fi geometria mâinii, fizionomia feței și urechea.

1.2. FUNCȚIONAREA SISTEMELOR BIOMETRICE

Un sistem biometric reprezintă de fapt un sistem de recunoaștere a formelor care captează date biometrice de la o anumită persoană, extrage un set de caracteristici relevante din aceste date, compară acest set de trăsături cu setul sau seturile din baza de date și execută o acțiune bazată pe rezultatul comparării. De aceea, un sistem biometric general poate fi văzut ca având patru module principale: un modul referitor la senzor; un modul de evaluare a calității și de extragere a caracteristicilor; un modul de potrivire; și un modul al bazei de date. Fiecare dintre aceste module va fi prezentat în continuare.

1.2.1. Modulul senzorului

Pentru a capta datele biometrice brute ale unei persoane este necesar un cititor sau un scanner biometric potrivit. Pentru a obține imaginile amprentelor digitale, de exemplu, poate fi folosit un senzor optic pentru a capta structura de ridicături ale vârfului degetului. Modulul senzorului definește interfața dintre om și mașină și este, în acest fel, fundamental pentru asigurarea performanțelor ridicate ale unui sistem biometric. O interfață cu calități mediocre va duce la o rată mare de erori de captare (failure-to-acquire rate – FTA) și, în continuare, la o acceptabilitate scăzută din partea utilizatorilor. Din moment ce cele mai multe modalități biometrice sunt captate ca imagini (excepție făcând vocea, care se bazează pe date audio, și mirosul, care se bazează pe date chimice), calitatea datelor brute depinde de caracteristicile dispozitivului de captare folosit. În figura 1.5 sunt prezentați diverși senzori utilizați pentru captarea imaginii amprente digitale.

1.2.2. Modul de evaluare a calității și de extragere a caracteristicilor

Calitatea datelor biometrice captate de către senzor este în primul rând evaluată pentru a determina dacă acestea sunt potrivite pentru procesarea viitoare. În mod uzual, datele achiziționate sunt supuse unui algoritm de îmbunătățire a semnalului pentru ameliorarea calității acestora. Oricum, în unele cazuri, calitatea datelor poate fi atât de redusă încât utilizatorul va fi rugat să mai prezintă încă o dată datele biometrice. Apoi, datele biometrice sunt procesate și este extras un set de trăsături fundamentale, care individualizează respectiva persoană. Într-un sistem biometric bazat pe amprentă digitală, de exemplu, poziția și orientarea punctelor crestelor papilare (anomaliile locale ale culmilor și văilor papilare) într-o imagine a unei amprente, sunt extrase de către modulul de extragere a caracteristicilor. În timpul înregistrării persoanei, acest set de trăsături este stocat în baza de date și este cunoscut sub denumirea de *șablon* (sau *model*).

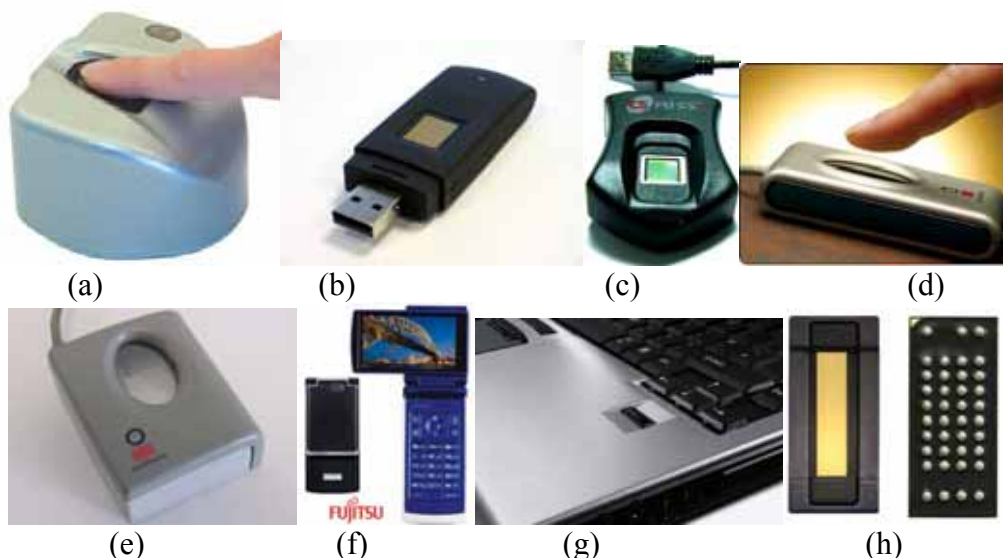


Figura 1.5. *Senzori și scanere pentru captarea imaginii amprentei digitale:* (a) Lumidigm, Inc. - Venus Series Biometric Fingerprint Sensor, (b) Kingston USB Fingerprint flash drive, (c) CS PASS, (d,e) digitalPersona, U.are.U, (f) Fujitsu-Siemens FOMA F905i , (g) UPEK - TCS5 TouchStrip Fingerprint Sensor , (h) AuthenTec - AES1711

1.2.3. Modulul de potrivire și luare a unei decizii

Trăsăturile extrase anterior sunt comparate cu modelele stocate pentru a genera rate de potrivire. Într-un sistem biometric bazat pe amprentă digitală, se determină numărul de creste papilare care se potrivesc între imaginea captată de la senzor și șabloanele stocate în baza de date, pentru a determina o rată de potrivire. Rata de potrivire poate fi influențată de calitatea datelor biometrice prezentate de către persoana respectivă. Modulul de potrivire încapsulează de asemenea un modul de luare a deciziei, în care ratele de potrivire sunt folosite pentru a valida sau invalida identitatea pretinsă de persoana respectivă.

1.2.4. Modulul bazei de date

Baza de date funcționează ca un depozit al informațiilor biometrice. În timpul procesului de înregistrare în sistem, setul de caracteristici extrase din datele biometrice captate, formează în acest fel șablonul, care va fi stocat în baza de date. Împreună cu șablonul, pot fi stocate și alte date care caracterizează utilizatorul, cum ar fi numele, adresa, codul PIN, etc. În funcție de aplicație, datele capturate în timpul procesului de înregistrare pot fi sau nu supervizate de către o persoană. De exemplu, încercarea unui utilizator de a crea un nou cont pe stația de lucru, unde sunt activate constrângerile biometrice, poate proceda la înregistrarea datelor biometrice fără nicio supervizare; în schimb, o persoană care dorește să utilizeze un automat bancar (ATM) va trebui să-și înregistreze în prealabil datele biometrice în prezența unui ofițer al băncii respective, după prezentarea actului de identitate sau al oricărui document ne-biometric.

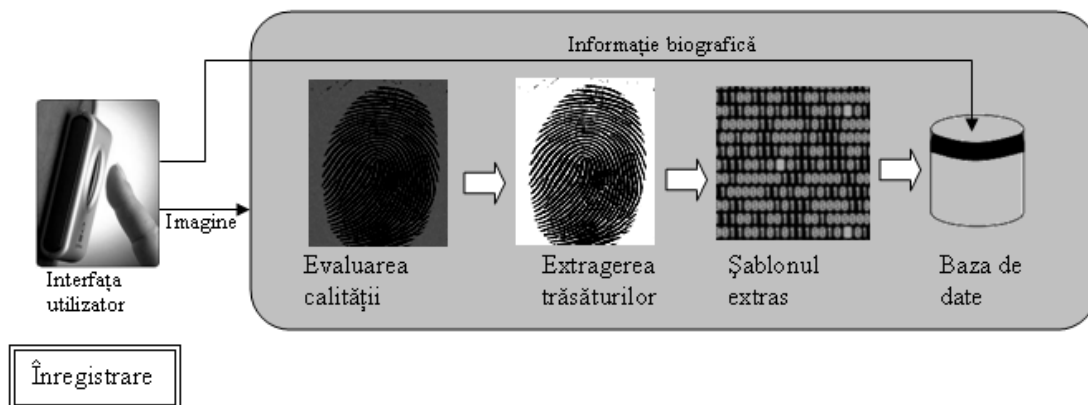
Șablonul unui anumit utilizator poate fi extras dintr-o singură probă biometrică sau poate fi generat prin procesarea mai multor probe. Astfel, șablonul creștelor papilare ale unui deget pot fi extrase după prelevarea mai multor probe ale aceluiași deget. Unele sisteme stochează mai multe șabloane pentru a avea în vedere variațiile intra-clasă asociate cu un

utilizator. Sistemele biometrice bazate pe recunoașterea facială, de exemplu, pot stoca mai multe modele ale aceluiași individ, fiecare șablon corespunzând unei poziții diferite a feței în fața camerei de luat vederi. În funcție de aplicație, șablonul poate fi stocat într-o bază de date centrală a unui sistem biometric sau poate fi înregistrat pe un token (de exemplu pe un card inteligent), care va fi emis pentru utilizatorul respectiv.

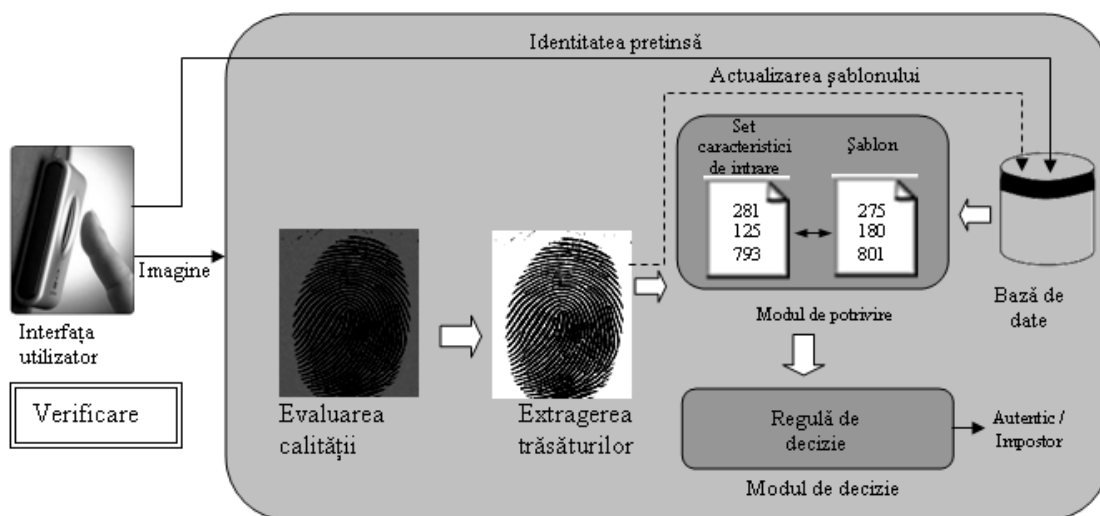
În literatura de specialitate referitoare la recunoașterea feței, imaginile biometrice brute stocate în baza de date sunt adesea denumite *galerii de imagini*, în timp ce imaginile captate în cadrul procesului de recunoaștere sunt denumite *imagini de probă*. Aceste denumiri sunt sinonime cu termenii *imagini stocate* și, respectiv, *imagini de intrare*.

1.3. VERIFICAREA ȘI IDENTIFICAREA

În funcție de contextul aplicației, un sistem biometric poate opera fie în modul verificare, fie în modul identificare, după cum este prezentat și în figura 1.6. În modul *verificare*, sistemul validează identitatea unei persoane prin compararea datelor biometrice capturate cu propriul șablon al individului, stocat în baza de date. Într-un astfel de sistem, un individ care dorește să fie recunoscut pretinde o anumită identitate, de obicei sub forma unui PIN, unui nume de utilizator sau a unui card inteligent, iar sistemul execută o comparație unu-la-unu pentru a determina dacă cererea este adevărată sau falsă („Correspond aceste date biometrice cu datele utilizatorului X ?”). Verificarea este de obicei folosită pentru recunoașterea pozitivă, unde scopul este de a preveni ca mai multe persoane să utilizeze aceeași identitate.



(a)



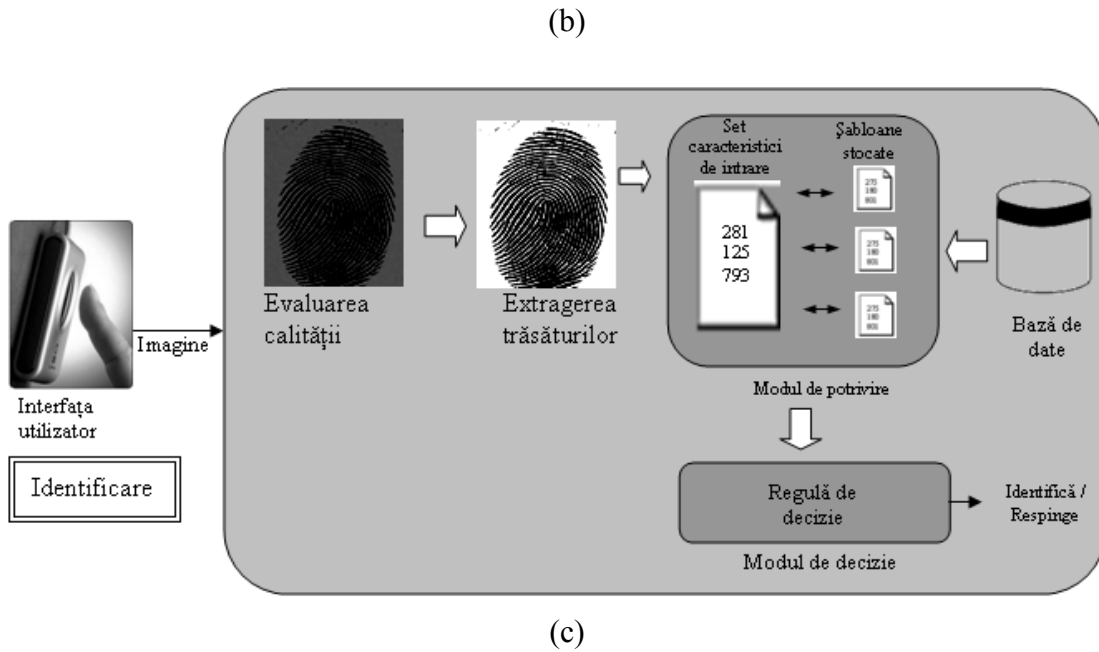


Figura 1.6. Moduri de funcționare ale sistemului: (a) înregistrarea în sistem, (b) verificarea și (c) identificarea (după [RONAJAI])

În modul identificare, sistemul recunoaște o anumită persoană prin căutarea printre șabloanele tuturor utilizatorilor din baza de date, în scopul găsirii unei potriviri. Astfel, sistemul conduce la o comparație unu-la-mai mulți pentru a stabili identitatea unui anumit individ (sau eșuează dacă subiectul nu este înregistrat în baza de date a sistemului), fără ca acesta să pretindă o anumită identitate (de exemplu, „A cui este această caracteristică biometrică ?”).

Identificarea reprezintă o componentă critică în aplicațiile care utilizează identificarea negativă, unde sistemul stabilește dacă persoana este (implicit sau explicit) sau nu cine pretinde că este. Scopul recunoașterii negative este de a preveni ca o anumită persoană să utilizeze mai multe identități. Identificarea poate fi de asemenea folosită în recunoașterea pozitivă pentru comoditate (utilizatorului nu i se cere să pretindă o anumită identitate). În timp ce metodele tradiționale de recunoaștere a persoanelor, cum ar fi de exemplu parolele, PIN-urile, cheile și token-urile, funcționează pentru recunoașterea pozitivă, recunoașterea negativă poate fi stabilită doar prin intermediul metodelor biometrice.

Problema verificării poate fi pusă în mod formal ca o problemă de clasificare folosind două categorii, după cum urmează: fiind dat un set de caracteristici de intrare X_Q și o identitate pretinsă I , să se determine dacă (I, X_Q) aparține lui w_1 sau w_2 , unde w_1 indică faptul că afirmația este adevărată (un utilizator „veritabil”), iar w_2 indică faptul că afirmația este falsă (utilizatorul este un „impostor”). În mod normal, X_Q se compară cu X_I , care reprezintă șablonul biometric corespunzător utilizatorului I , pentru a determina categoria sa.

Regula de decizie rezultată este:

$$(I, X_Q) \in \begin{cases} w_1 & \text{dacă } S(X_Q, X_I) \geq \eta, \\ w_2 & \text{altfel} \end{cases} \quad (1.1)$$

unde S este funcția care măsoară similaritatea dintre X_Q și X_I , iar η este un prag predefinit. Valoarea $S(X_Q, X_I)$ este denumită scor de similaritate sau rată de potrivire între vectorul de caracteristici de intrare și cel stocat în baza de date corespunzând identității I . Fiecare identitate pretinsă într-un scenariu de verificare este clasificată ca w_1 sau w_2 , bazându-se pe

variabilele X_Q , I , X_I și η , și de funcția S . Pe de altă parte, problema identificării poate fi pusă în felul următor: fiind dat un set de caracteristici de intrare X_Q , să se determine identitatea I_k , $k \in \{1, 2, \dots, M, M+1\}$, unde I_1, I_2, \dots, I_M reprezintă M identități înregistrate în sistem, iar I_{M+1} indică cazul în care nicio identitate din sistem nu poate fi determinată pentru intrare.

Astfel,

$$X_Q \in \begin{cases} I_K & \text{dacă } K = \arg \max_k \{S(X_Q, X_{I_k})\} \text{ și } S(X_Q, X_{I_k}) > \eta \\ I_{M+1} & \text{altfel} \end{cases}, \quad (1.2)$$

unde X_{I_k} reprezintă șablonul biometric corespunzător identității I_k , iar η este un prag predefinit în rata de potrivire.

În formularea de mai sus, presupunem că rata de potrivire, $S(X_Q, X_I)$, arată cât de *similari* sunt vectorii X_Q și X_I . Este de asemenea posibil să vedem rata de potrivire ca o măsură a *disimilarității* sau ca o rată a *distanței*. O rată mare a distanței va implica o potrivire minimă între X_Q și X_I , în timp ce o rată a similarității mare va implica o potrivire bună.

1.4. PERFORMANȚELE UNUI SISTEM BIOMETRIC

Spre deosebire de sistemele bazate pe parole, unde este necesară o potrivire *perfectă* între două șiruri de caractere alfanumerice pentru a valida identitatea unui utilizator, într-un sistem biometric se întâmplă foarte rar sau chiar niciodată să existe două mostre care să aibă exact același set de caracteristici. Acest lucru se întâmplă din cauza condițiilor imperfecte de preluare a probelor (de exemplu, luarea imaginii unei amprente poate fi influențată de o defecțiune sau o proastă construcție a senzorului de captare), datorită alterărilor caracteristicilor biometrice ale utilizatorului (de exemplu, respirația greoaie sau răgușită poate influența recunoașterea vocală), ale schimbărilor mediului înconjurător (de exemplu, niveluri diferite de iluminare în cazul recunoașterii faciale) sau variații ale interacțiunii utilizatorului cu senzorul (un ochi parțial deschis, ceea ce duce la o captură nedorită a imaginii irisului sau amprente parțiale). Astfel, distanța dintre două seturi de caracteristici care aparțin aceluiași utilizator pentru aceeași trăsătură biometrică, va fi în mod uzual diferită de zero (o distanță egală cu zero ar indica faptul că cele două seturi sunt *identice*). În figura 1.7 se prezintă caracteristicile creștelor papilare extrase din trei impresiuni diferite ale aceluiași deget. Aceste caracteristici diferă în mod substanțial între ele, în acest fel fiind imposibil să se găsească o potrivire perfectă. De fapt, o potrivire perfectă poate indica posibilitatea existenței unui atac care a fost lansat împotriva sistemului, prin prelucrarea unei imagini impuse și nu a celei captate de senzor.

Variația observată în cadrul seturilor de caracteristici biometrice aparținând aceluiași individ se numește variație *intra-clasă*, iar variația dintre două seturi aparținând la doi indivizi diferiți se numește variație *inter-clasă*. Un set de caracteristici poate fi considerat util dacă se obține o variație intra-clasă foarte mică și o variație inter-clasă foarte mare.

Un scor al similarității este denumit *veritabil* sau *autentic* dacă este rezultatul potrivirii între două probe ale aceleiași trăsături biometrice a unui utilizator. Se numește scor *impostor* dacă se ajunge la compararea a două probe biometrice aparținând la doi utilizatori diferiți. Un scor impostor care depășește pragul η duce la o falsă acceptare (sau, la o falsă potrivire), în timp ce un scor autentic care scade sub pragul η duce la o respingere falsă (sau la o falsă nepotrivire). Rata de acceptare falsă (FAR – False Accept Rate) (sau Rata de potrivire falsă (FMR – False Match Rate)) a unui sistem biometric poate fi definită ca fracția din scorul impostor care depășește pragul η .

În mod similar, Rata de respingere falsă (FRR – False Reject Rate) (sau, Rata de nepotrivire falsă (FNMR – False Non-Match Rate)) reprezintă fracția scorurilor autentice care

scad sub pragul η . Rata de acceptare autentică (GAR – Genuine Accept Rate) reprezintă fracția din scorurile autentice care depășesc pragul η . Prin urmare,

$$GAR = 1 - FRR \quad (1.3)$$


Figura 1.7. Caracteristicile creștelor papilare extrase din trei impresiuni diferite ale aceluiași deget ([RONAJAI])

Prin regularizarea valorii pragului η , acesta schimbă valorile ratelor FRR și FAR, dar pentru un sistem biometric dat, nu este posibilă scăderea simultană a acestor două valori.

Când sunt disponibile un număr mare de scoruri autentice și impostoare, una dintre aceste valori poate *estima* funcțiile de densitate a probabilității celor două seturi de scoruri pentru a deriva analitic FAR și FRR. Fie $p(s | \text{autentic})$ și $p(s | \text{impostor})$ funcțiile de densitate a probabilităților (sau distribuțiile probabile) scorului s în condițiile unei autentificări autentice, respectiv impostoare. Atunci, pentru un prag particular η ,

$$FAR(\eta) = \int_{\eta}^{\infty} p(s | \text{impostor}) ds \quad (1.4)$$

$$FRR(\eta) = \int_{-\infty}^{\eta} p(s | \text{autentic}) ds \quad (1.5)$$

Dacă scorul de potrivire reprezintă o valoare a distanței sau a disimilarității, atunci $FAR(\eta)$ și $FRR(\eta)$ pot fi exprimate în felul următor:

$$FAR(\eta) = \int_{-\infty}^{\eta} p(s | impostor) ds \quad (1.6)$$

$$FRR(\eta) = \int_{\eta}^{\infty} p(s | authentic) ds \quad (1.7)$$

Figura 1.8 ilustrează distribuțiile autentice și impoștoare, corespunzătoare unui sistem biometric. Scorurile de similaritate, în acest caz, sunt luate din baza de date NIST BSSR1.

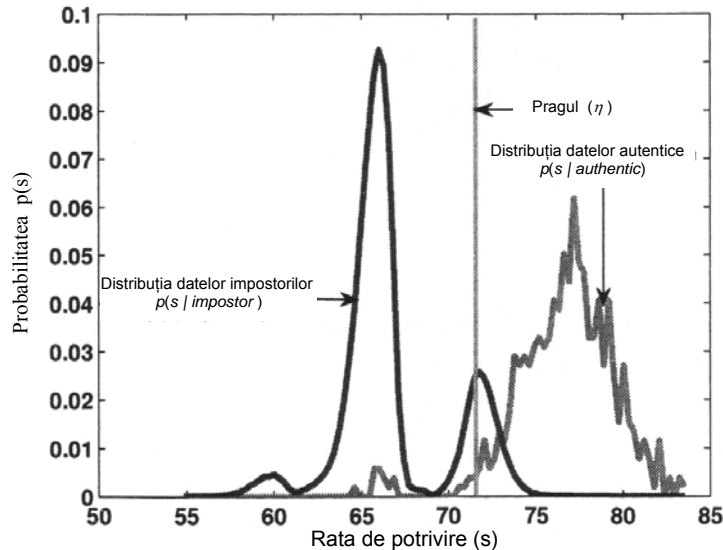
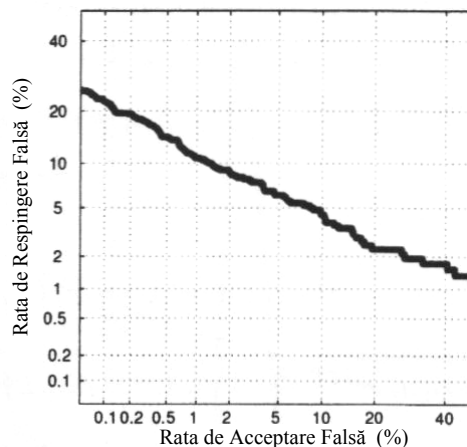
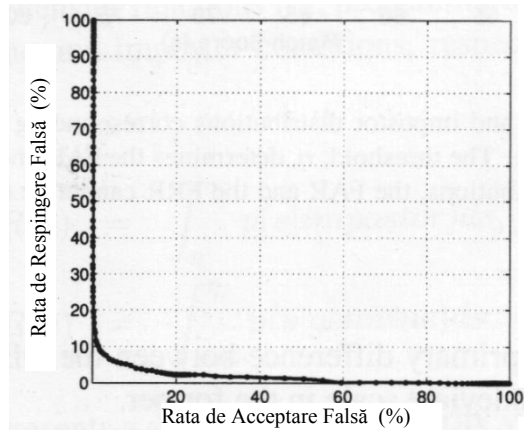


Figura 1.8. Distribuțiile autentice și impoștoare, corespunzătoare unui sistem biometric ([RONAJA1])

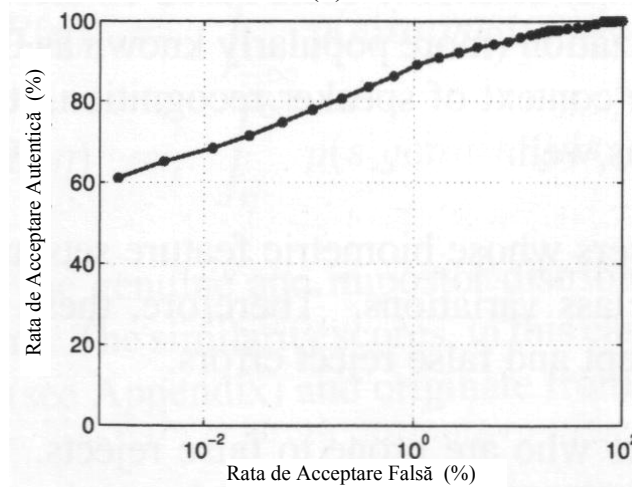
Valorile FAR și FRR la diferite valori ale pragului η pot fi centralizate utilizând o curbă de detecție a erorii (DET – Detection Error Tradeoff) care reprezintă FRR în funcție de FAR la praguri diferite, pe o scară deviata normal. Acest grafic este prezentat în figura 1.9(a) ([RONAJA1]). Când este utilizată o scară liniară, logaritmică sau semi-logaritmică pentru trasarea acestor rate ale erorii, graficul este cunoscut ca fiind curba caracteristicilor de operare a receptorului (ROC – Receiver Operating Characteristic). În multe cazuri, curba ROC trasează GAR (respectiv FRR) funcție de FAR (graficele sunt prezentate în figurile 1.9(b) și 1.9(c) ([RONAJA1])). Principala diferență între curbele DET și ROC este reprezentată de utilizarea scării deviate normal în cazul celei dintâi curbe.



(a)



(b)



(c)

Figura 1.9. (a) Curba DET; (b) Curba ROC (FRR funcție de FAR, pe o scară liniară); (c) Curba ROC (GAR funcție de FAR, pe o scară semi-logaritmică) ([RONAJAI])

În afară de cele două tipuri de erori prezentate mai sus (FAR și FRR), un sistem biometric poate de asemenea să prezinte și alte tipuri de eșecuri. Rate de eșec la captare (FTA – Failure to Acquire, cunoscută și sub denumirea de FTC – Failure to Capture) reprezintă proporțiile de timp în care dispozitivul biometric eșuează în captarea unei probe atunci când îi este prezentată o caracteristică biometrică. Acest tip de eroare apare în mod uzual atunci când dispozitivul nu poate să identifice un semnal biometric de o calitate satisfăcătoare (de exemplu, o amprentă foarte ștersă sau o imagine a feței cu o parte acoperită sau invizibilă). Rata FTA este influențată și de uzura senzorului. Astfel, întreținerea periodică a senzorului este esențială pentru funcționarea eficientă a unui sistem biometric.

Rata de eșec la înregistrare (FTE – Failure to Enroll) denotă proporția de utilizatori care nu pot fi înregistrați cu succes în cadrul sistemului. Pregătirea utilizatorilor poate fi necesară pentru a se asigura faptul că se va interacționa cu sistemul biometric în mod corect, pentru a facilita captarea de date biometrice de o calitate foarte bună. Acest lucru necesită construirea unor interfețe utilizator simple și eficiente, care pot să asiste persoana atât în timpul înregistrării cât și în momentul recunoașterii.

Performanțele unui sistem biometric pot fi de asemenea centralizate folosind alte măsurători care determină o singură valoare, cum ar fi Rata de erori egală (EER – Equal Error Rate) și valoarea lui d' . EER se referă la acel punct de pe curba DET în care FAR

este egală cu FRR; o valoare mai mică a indicatorului EER va indica o performanță mai bună. Valoarea lui d' (d') măsoară distanța dintre mediile distribuțiilor probabilistice ale utilizatorilor adevărați și impostori, în unități de deviație standard, și este definită de ([RONAJA1]):

$$d' = \frac{\sqrt{2} |\mu_{\text{autentic}} - \mu_{\text{impostor}}|}{\sqrt{\sigma_{\text{autentic}}^2 + \sigma_{\text{impostor}}^2}} \quad (1.8)$$

unde μ și σ sunt media și, respectiv, deviația standard, a distribuțiilor utilizatorilor autentici sau impostori. O valoare mai mare a lui d' va indica o performanță mai bună. Dacă distribuțiile utilizatorilor autentici și impostori urmează într-adevăr o distribuție normală (Gaussiană) cu varianță egală (o situație foarte rar întâlnită în practica biometrică), atunci d' se reduce la valoarea deviată normală ([SWE1]). Poh și Bengio ([POH1]) introduc în 2005 o altă măsură care returnează o singură valoare, numită „rația F”, notată cu F-ratio, care se definește astfel:

$$F - ratio = \frac{\mu_{\text{autentic}} - \mu_{\text{impostor}}}{\sigma_{\text{autentic}} + \sigma_{\text{impostor}}} \quad (1.9)$$

Dacă distribuțiile utilizatorilor autentici și impostori este Gaussiană, atunci între EER și F-ratio apare următoarea relație ([POH1]):

$$EER = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{F - ratio}{\sqrt{2}} \right) \quad (1.10)$$

unde

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (1.11)$$

Din cele prezentate mai sus, se poate observa foarte ușor faptul că teoria statistică are un rol foarte important în definirea și delimitarea corectă a spațiului recunoașterii biometrice. Aceste erori sunt prezentate și în manualele majorității dispozitivelor biometrice. De exemplu, pentru dispozitivul de pontaj prezentat în figura 1.10, se specifică datele din tabelul 1.1 ([BMS1]).



Figura 1.10. Dispozitivul de pontaj BMS-F01

Tabelul 1.1. Specificațiile tehnice ale produsului BMS-F01

Sensor	Tip	Optic
	Rezoluție imagine	500 dpi
	Dimensiune imagine	272px x 320px

Înregistrare	Durata	< 1 sec. / amprentă
	Mod	2 scanări / amprentă
	Număr amprente	10 / utilizator
Identificare	Durata	< 1 sec. la 3.000 amprente
	FAR	1 / 100.000.000
	FRR	≤1%
Baza de date	Număr amprente	9.000 (optional 19.000)
	Număr evenimente	12.500
Unitate de comandă	Nr. dispozitive de citire	2
	Nr. incuitori	2
Rețea	Nr terminale	255
	Viteza	115.200bps

1.5. APLICAȚII ALE BIOMETRIEI

Stabilirea identității unei persoane cu o foarte mare certitudine a devenit decisivă într-un foarte mare număr de aplicații din societatea noastră de astăzi, caracterizată prin interconectarea fără precedent. Întrebări de genul „Este acea persoană chiar cine pretinde că este?”, „Este această persoană autorizată să folosească acest dispozitiv sau această facilitare?”, sunt puse din ce în ce mai des în diferite scenarii, cum ar fi la emiterea unui permis de conducere în Statele Unite ale Americii sau la trecerea frontierei de stat. Nevoia unor tehnici foarte solide de autentificare a utilizatorilor este din ce în ce mai mare, având în vedere dezvoltările importante în domeniul rețelelor de calculatoare, a comunicațiilor și a mobilității. Astfel, tehnologiile biometrice sunt din ce în ce mai mult încorporate în multe aplicații. Aceste aplicații pot fi împărțite în trei mari grupuri:

1. **Aplicații comerciale**, cum ar fi autentificarea într-o rețea, securitatea datelor electronice, comerț electronic, accesul la Internet, folosirea unui ATM sau a unui card bancar, controlul accesului, utilizarea telefoanelor mobile, PDA-urilor, managementul înregistrărilor medicale, învățarea la distanță, etc;

2. **Aplicații guvernamentale**, cum ar fi emiterea unei cărți de identitate, managementul persoanelor din cadrul unei închisori, emiterea permisului de conducere, controlul la trecerea frontierei de stat, etc;

3. **Aplicații în criminalistică**, cum ar fi identificarea cadavrelor, investigațiile criminale, determinarea părinților pe baza ADN-ului, etc.

În continuare sunt prezentate câteva exemple de aplicații în care se folosește biometria pentru autentificare persoanelor.

1. Sistemul Privium de la Aeroportul Internațional Schiphol din Amsterdam, Olanda, ([PRIV1]) utilizează scanarea irisului și carduri inteligente pentru a grăbi procedura de trecere a frontierei. Pasagerii, care sunt în mod voluntar înregistrați în sistem, introduc cardul lor inteligent la intrarea în aerogară și după aceea se uită la o cameră; aceasta captează imaginea ochiului pasagerului și o procesează pentru a localiza irisul, apoi calculează IrisCode-ul

(codul irisului, după cum apare în literatura de specialitate; inventatorul acestui procedeu și totodată cel care deține patentul pentru utilizarea sa este John Daugman, de la Universitatea Cambridge, Marea Britanie). IrisCode-ul este comparat cu datele existente pe cardul inteligent pentru a finaliza verificarea utilizatorului. O schemă asemănătoare este utilizată pentru verificarea identității angajaților aeroportului, care lucrează în zone de securitate ridicată. Acesta este un exemplu bun de sistem biometric, care este folosit pentru a crește ușurința de utilizare, în același timp îmbunătățindu-se și securitatea. În figura 1.11 este prezentat modul de folosire al acestui sistem.



Figura 1.11. Sistemul Privilium de la Aeroportul Schipol din Amsterdam

2. Aeroportul internațional Ben Gurion din Tel-Aviv ([BEN1]) utilizează chioșcuri de identificare automată a persoanelor pe baza geometriei mâinii, pentru a facilita trecerea mult mai rapidă de procesul de inspecție a pașapoartelor pentru cetățenii israelieni și turiștii internaționali care trec foarte des în acest stat. În momentul de față, mai mult de 160.000 de cetățeni israelieni sunt înregistrați în acest program. Sistemul bazat pe chioșcuri utilizează cardul de credit al turiștilor pentru a începe procesul de verificare. Apoi informațiile obținute din geometria mâinii sunt folosite pentru a valida identitatea turiștilor, precum și pentru a testa în continuare dacă utilizatorul respectiv reprezintă o amenințare la adresa Israelului. Procesul automat de inspecție durează mai puțin de 20 de secunde și a redus considerabil timpul de așteptare pentru pasageri. În figura 1.12 se prezintă câteva imagini din procesul de verificare.



Figura 1.12. Sisteme de verificare folosind geometria mâinii, la Aeroportul Internațional „Ben Gurion” din Tel Aviv

3. Unele instituții financiare din Japonia ([ATM1]) au instalat sisteme de autentificare bazate pe rețeaua de vene a mâinii în cadrul automatelor bancare (ATM) pentru a ajuta la

validarea identității consumatorilor care doresc să realizeze o tranzacție. Un senzor care nu necesită atingere este folosit pentru a capta imaginea palmei și a structurii de vene ale mâinii utilizatorului, folosind o sursă de lumină cu frecvență apropiată de infra-roșu. Astfel, o persoană nu trebuie să plaseze direct mâna pe dispozitivul respectiv.



Figura 1.13. *Sisteme de autentificare folosind geometria palmei și structura de vene a mâinii*

4. Kroger, un lanț american de magazine, a implementat scannere de amprentă în unele dintre locațiile sale pentru a facilita plata cumpărăturilor ([KRO1]). Cumpărătorii interesați pot să-și înregistreze degetul index împreună cu detaliile referitoare la cardurile lor de credit sau de debit (sau a cecurilor electronice). Permisul de conducere al utilizatorului este folosit pentru a valida identitatea acestuia în procesul de înrolare.

5. Deținătorii de permise de acces la parcul de distracții Disney World din Orlando, SUA, au informațiile referitoare la geometria degetului stocate într-o bază de date centrală ([DIS1]). Când vizitatorul prezintă permisul său pentru a merge într-un anumit loc în parcul de distracții, va trebui să prezinte la intrare datele sale biometrice. Acestea sunt comparate cu cele stocate în baza de date. Acest lucru este folosit pentru a se stabili dacă doar o singură persoană folosește un astfel de permis. Detaliile personale ale vizitatorului nu sunt asociate cu datele referitoare la geometria degetului, stocate în baza de date, în acest fel crescând securitatea, fără afectarea vieții private a vizitatorului.

6. Tehnologia US-VISIT (United States Visitor and Immigration Status Indicator Technology) ([USVIS1]) reprezintă un sistem de securitate la trecerea frontierei, care a fost implementat în mai mult de 100 de aeroporturi americane, precum și în 15 porturi și în 50 dintre cele mai aglomerate vămi de intrare în SUA. Turiștilor străini care intră în SUA li se scanează degetul arătător de la ambele mâini, folosind un cititor de amprentă. Datele biometrice achiziționate sunt folosite pentru validarea documentelor de călătorie ale utilizatorului la punctul de acces. A fost adoptată de asemenea, în unele aeroporturi și porturi maritime, și o procedură biometrică la ieșirea din țară, pentru a facilita viitoarele călătorii ale utilizatorilor în această țară. Deși deocamdată se folosesc doar două amprente, sistemul va putea pe viitor să înregistreze toate cele 10 degete ale unei persoane. Acest lucru va asigura faptul că baza de date cu amprente achiziționate în cadrul programului US-VISIT va fi compatibilă cu baza de date deținută de FBI în cadrul Sistemului Integrat de Identificare Automată a Amprentelor (IAFIS – Integrated Automated Fingerprint Identification System).

Graficul din figura 1.14 arată, procentual, domeniile unde biometria este aplicată ([MEL1]).

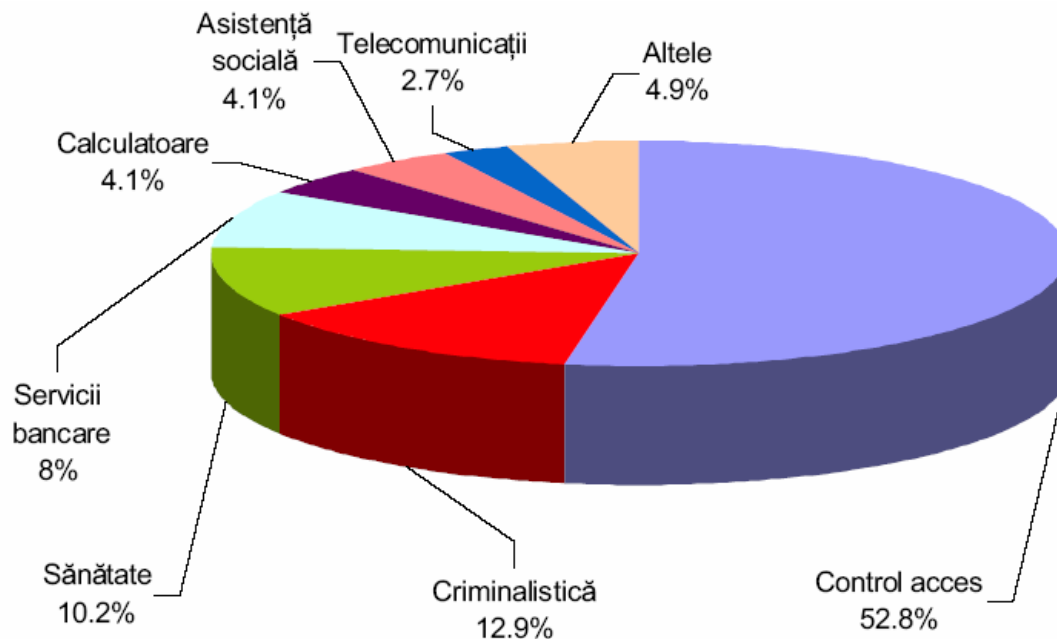


Figura 1.14. Domenii în care se folosesc metodele biometrice ([MEL1])

1.6. CARACTERISTICI BIOMETRICE ESENȚIALE

Indicii biometrici pot fi clasificați în următoarele categorii majore:

- **înfățișarea** (de exemplu: înălțimea, greutatea, culoarea pielii, a părului și ochilor, semne caracteristice vizibile, genul, rasa, părul facial etc., toate acestea prezentate, de regulă, într-o fotografie);
- **comportamentul** (de exemplu: ticuri, caracteristicile generale ale vocii, stilul de exprimare, handicapuri vizibile, trăsături memorate pe bandă video);
- **elemente bio-dinamice** (de exemplu: presiunea și viteza de execuție a semnăturii, caracteristici statistice ale vocii, viteza de apăsare a tastelor în cazul introducerii unei parole etc.);
- **elemente fiziologice naturale** (de exemplu: dimensiunile scheletului – antropometrie, leziuni osoase sau dentare tratate, amprente papilare și palmare, imaginea retiniană, modelul vaselor capilare faciale sau din lobul urechii, geometria mâinii, amprenta ADN etc.);
- **elemente artificiale** (folosite în special pentru identificarea animalelor, putând exemplifica cu: brățări, coduri de bare tatuate, zgărzi, microcipuri inserate sub piele, emițătoare radio etc.).

Unele din aceste caracteristici se modifică natural de-a lungul timpului, cum ar fi culoarea părului, greutatea și înălțimea. Schimbările naturale pot fi mascate sau amplificate prin vopsirea părului, folosirea de pantofi cu tocuri sau aplicarea de regimuri alimentare specifice.

Modificările nenaturale ale câtorva caracteristici biometrice fac identificarea extrem de dificilă. Astfel, lentilele de contact schimbă culoarea ochilor, rama ochelarilor poate modifica aspectul facial, iar schimbarea aspectului pilozității faciale, incluzând barba, mustața, favoriții, sprâncenele și genele, pot face recunoașterea imposibilă. În situații extreme, chirurgia estetică poate schimba total aspectul facial sau corporal, persoana apărută după operație fiind, aparent, fără nicio legătură biometrică cu cea anterioară.

Progresele medicinei au făcut ca nici măcar sexul să nu mai fie un indiciu sigur de identificare. Alte elemente, greu modificabile (cum ar fi, tratamentele dentare sau afecțiunile

osoase) sunt greu observabile, presupunând metode invazive de explorare; acestea sunt acceptate ca metode de identificare doar în cazul medicinei legale.

De multe ori, schimbarea are doar un substrat estetic; din punctul de vedere al lucrării, este importantă găsirea unor caracteristici biometrice care să permită identificarea când schimbarea este făcută în scopul unor acțiuni ilegale.

Tehnicile de identificare biometrică variază extrem de mult, funcție de necesitățile instituției respective. La o extremă, interesul pentru aceste tehnici este nul, fiind folosite pentru identificare metodele clasice, cu toate neajunsurile care decurg de aici. La cealaltă extremă, unele instituții, implicate în criminalistică, cercetări penale, siguranță națională etc., folosesc pentru identificare astfel de procedee, de la identificare prin amprente papilare sau palmare, până la verificarea amprente ADN.

Măsurarea, colectarea și prelucrarea datelor biometrice ale persoanelor implică complicații mari în cazul metodelor invazive: în general, aceste metode sunt realizabile numai cu acordul persoanei respective. Alte tehnici de recunoaștere, bazate pe informații video, au deficiențe din punctul de vedere al timpului de prelucrare al datelor, trebuind să se ajungă la un compromis, întotdeauna defavorabil, între calitatea imaginii și timpul de transmisie al informațiilor.

În continuare sunt prezentate caracteristicile dorite de la un sistem de identificare:

- universalitate – fiecare persoană trebuie să fie identificabilă după criteriul propus;
- unicitate – fiecare persoană trebuie să aibă un singur identificator; nu trebuie să existe două persoane cu același identificator; permanență – identificatorul nu trebuie să se modifice în timp sau să fie transformat la dorință;
- necesitate – identificatorul trebuie să conțină una sau mai multe caracteristici naturale, la care o persoană nu poate renunța;
- achiziționare – identificatorul trebuie să fie obținut cu ușurință;
- conservare – identificatorul trebuie să fie păstrat cu ușurință, atât în sistemele manuale de identificare, cât și în cele automate;
- excludere – identificatorul selectat face inutilă orice altă formă de identificare;
- precizie – fiecare identificator trebuie să fie suficient de diferit de oricare alt identificator, astfel încât identificarea să fie făcută fără greșală;
- simplitate – înregistrarea și transmiterea indiciilor trebuie să fie simplă, fără a se genera erori;
- cost – culegerea și păstrarea indiciilor trebuie să ajungă la costuri rezonabile;
- comoditate – culegerea și păstrarea indiciilor nu trebuie să fie dificilă sau mare consumatoare de timp;
- acceptanță – culegerea indiciilor nu lezează standardele etice, religioase, culturale sau morale ale societății

Tabelul 1.2 prezintă tipurile de identificare biometrică folosite curent, în funcție de caracteristicile enumerate anterior.

În tabelul 1.3 sunt prezentate avantajele și dezavantajele metodelor de identificare biometrică.

Mulți specialiști consideră că dezvoltarea biometriei este strâns legată de cartelele inteligente. În momentul în care o serie de parametri biometrici sunt memorați pe smart-card, pierderea sau furtul acesteia nu mai prezintă niciun fel de risc, identificarea posesorului fiind absolut sigură.

Figura 1.15 prezintă ponderea tehnologiilor biometrice.

Tabelul 1.2. Tipurile de identificare biometrică folosite curent ([MEL1])

Procedură	Criteriu											
	Universalitate	Unicitate	Permanență	Necesitate	Achiziționare	Conservare	Excludere	Precizie	Simplitate	Cost redus	Comoditate	Acceptanță
Imagine facială	Da	Nu	Nu	Nu	Da	Da	Nu	Da	Da	Da	Da	Nu
Geometria mâinii	Nu	Nu	Nu	Da	Da	Da	Da	Nu	Da	Nu	Da	Da
Amprente papilare	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Nu
Retină	Nu	Da	Nu	Da	Da	Da	Da	Da	Nu	Nu	Da	Nu
Iris	Nu	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Nu
Termogramă facială	Da	Da	Nu	Da	Da	Da	Da	Da	Nu	Nu	Da	Nu
Voce	Nu	Da	Nu	Da	Da	Da	Nu	Da	Da	Da	Da	Da
Dinamica semnăturii	Nu	Nu	Nu	Nu	Da	Da	Nu	Nu	Da	Da	Da	Da
Amprenta ADN	Da	Da	Da	Da	Nu	Da	Da	Da	Nu	Nu	Nu	Da

Tabelul 1.3. Avantajele și dezavantajele metodelor de identificare biometrică ([MEL1])

Metoda	Avantaje	Slăbiciuni	Acceptanță
Fotografie și imagine facială	Ieftină, neinvazivă	Ușor de falsificat și de imitat.	Unele culturi nu acceptă fotografia
Geometria mâinii	Neinvazivă, rapidă, stocare ușoară	Imprecisă, se modifică natural, falsificabilă	
Amprente papilare	Precisă, neinvazivă, ușor de automatizat	3÷7% din populație nu au amprente utilizabile	Unele țări nu folosesc metoda decât în scopuri criminalistice
Retină	Precizie extremă	Invazivă, incomodă	Inacceptabilă în unele culturi
Iris	Foarte exactă, fără modificări în timp	Invazivă, cost mare	Inacceptabilă în unele culturi
Termogramă facială	Extrem de precisă, imposibil de fraudat	Cost mare, încă nedisponibilă comercial	Inacceptabilă în unele culturi
Voce	Neinvazivă, ieftină	Imprecisă, ușor de falsificat	
Dinamica semnăturii	Neinvazivă, stocare ușoară	Imprecisă	
Amprenta ADN	Extrem de precisă, imposibil de fraudat	Lentă, scumpă, câteodată invazivă.	Inacceptabilă în unele culturi

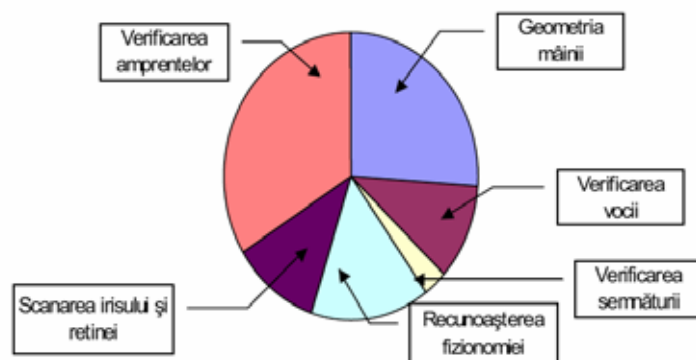


Figura 1.15. Ponderele tehnicilor biometrice([MEL1])

1.6.1. Fotografia și fizionomia

Fotografia, o reprezentare grafică a unei fizionomii sau trăsături specifice, realizată la un moment anume în timp și în condiții de iluminare specifice, este, deocamdată, cea mai utilizată metodă biometrică.

Funcție de mărimea ei, de granularitatea și rezoluția negativului și mediului de reproducere, de caracteristicile cromatice etc., fotografia poate fi o reprezentare, mai mult sau mai puțin exactă, în două dimensiuni, a realității tridimensionale.

Posibilitățile tehnice actuale, de prelucrare digitală a imaginii, fac din fotografie o metodă nesigură de identificare, în special dacă persoana respectivă urmărește fraudarea sistemului de recunoaștere.

Un alt dezavantaj al folosirii fotografiei în sistemele automate de recunoaștere constă în cantitatea mare de informație care trebuie memorată relativ la fiecare persoană, precum și complexitatea algoritmilor de corelare între imaginile memorate și fotografiile verificate.

Sistemele de identificare bazate pe imagini trebuie să țină cont de faptul că o serie de detalii ale feței se modifică, câteodată destul de rapid. Astfel, aspectul pilozităților faciale se poate modifica de la o zi la alta, lungimea părului crește observabil în câteva zile, schimbarea cosmeticelor modifică nuanțele culorilor, toate acestea făcând dificilă operațiunea de identificare automată.

Unele echipamente folosesc pentru identificare o serie de date antropometrice, măsurabile pe o imagine bidimensională (figura 1.16).

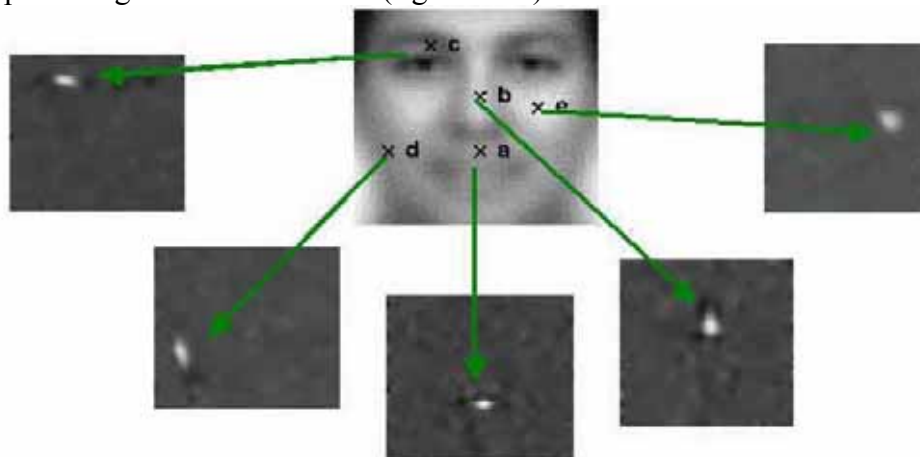


Figura 1.16. Identificarea fizionomică ([MEL1])

a) grosimea buzelor; (b) grosimea nasului; (c) distanța dintre orbite; (d,e) forma pomeților

Parametrii mășurați trebuie să fie cât mai constanți în timp, astfel că se recomandă evaluarea distanței dintre orbite, a grosimii nasului, a formei pomeților, a grosimii buzelor etc.

Unele sisteme de identificare fizionomică construiesc un model tridimensional al feței persoanei, model care este comparat cu o serie de fotografii realizate din mai multe unghiuri.

Alte proceduri, mai pretențioase, folosesc fie transformata Fourier bidimensională, fie o tehnologie bazată pe rețele neurale. Ambele metode determină corelația între cele două seturi de date: imaginea memorată de sistem și imaginea achiziționată pentru identificare. Performanțele sistemelor de recunoaștere fizionomice cu rețea neurală asigură o rejectare falsă de 1.5% și o acceptare falsă de 0.01%.

Compararea automată a imaginii fizionomiei cu informațiile memorate face necesară folosirea tehnicilor digitale pentru stocarea și achiziționarea datelor. Tehnologia informatică este folosită pentru realizarea unor prelucrări primare ale imaginii (deplasări, scalări, rotații bidimensionale, compensări ale diferențelor de luminozitate), necesare pentru potrivirea aproximativă între imaginea achiziționată și informația memorată, precum și pentru implementarea algoritmului care calculează similitudinea între cele două seturi de date.

Toate aceste operațiuni (achiziționarea imaginii, prelucrarea primară, extragerea modelelor din baza de date imagistică și calculul similitudinii între acestea) durează mai puțin de o secundă.

Verificarea întregului set de date asigură o identificare, de multe ori mulțumitoare dar, nu trebuie uitat că dacă un intrus dorește să penetreze un sistem de identificare pe bază de imagine fizionomică, poate să folosească o mască din latex care-l face identic cu fotografia etalon.

O metodă de identificare mai dificil de falsificat dar, în aceeași măsură, greu de implementat, presupune folosirea unei holograme. Aceasta este, principial, tot o fotografie dar are marele avantaj că nu memorează numai intensitatea luminoasă (în tonuri de gri pentru o fotografie alb-negru sau tonuri ale culorilor fundamentale RGB pentru o fotografie color) ci și faza semnalului. Memorarea fazei are ca efect obținerea unei imagini tridimensionale a obiectului.

Aparent, holograma este o imagine intraductibilă: o mulțime de cercuri concentrice sau tangente, divers colorate. Pentru vizualizare, sunt necesare aceleași condiții ca la realizarea hologramei: o sursă de lumină coerentă, convergentă și monocromatică, adică date de un laser.

Totuși, pentru identificarea hologramei în baza de date imagistică nu este necesară vizualizarea hologramei, care este o operațiune complexă, dar inutilă pentru algoritmul de identificare. Verificarea se face prin compararea directă a celor două holograme.

Metoda este, deocamdată, în curs de dezvoltare, modificările aduse hologramei de procedura de digitizare având efecte greu de estimat și eliminat.

1.6.2. Tehnici antropometrice

Antropometria presupune măsurarea unor părți ale corpului uman. Până de curând era folosită numai de antropologie și ajută la reconstituirea dimensiunilor corpului uman pornind de la cele câteva fragmente de schelet descoperite.

Dispozitivele electronice dezvoltate recent, se folosesc pentru măsurarea parametrilor antropologici ai mâinii sau pentru explorarea tridimensională a degetului index al mâinilor. Identificarea pe baza geometriei mâinii (figura 1.17), presupune determinarea lungimii și curburii degetelor, lățimea mâinii, distanța între degete etc.

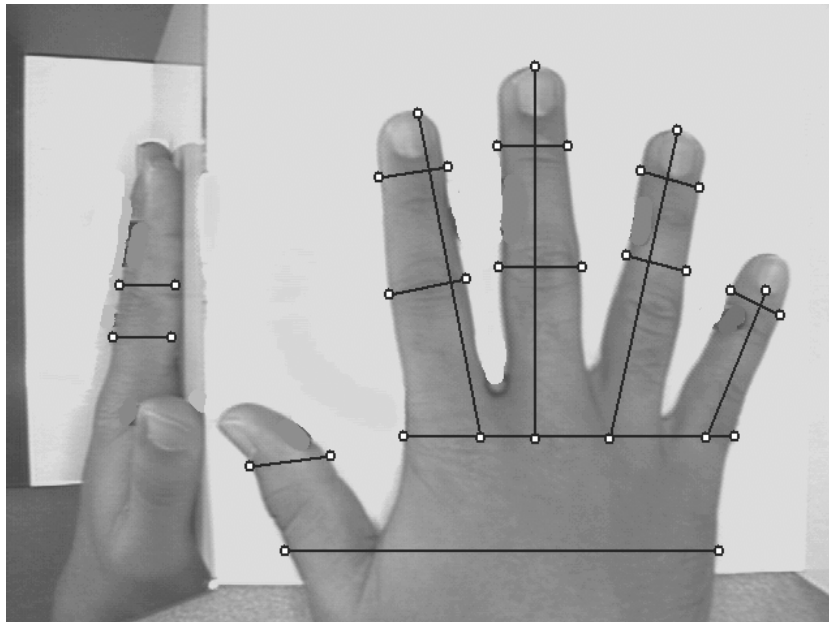


Figura 1.17. Măsurarea parametrilor geometrici ai mâinii ([MEL1])

Verificarea indexului presupune măsurarea lungimii degetului, a celor trei segmente ale acestuia, curbura sa, etc.

Dispozitivele execută determinări bi sau tridimensionale, folosind pentru măsurări, de regulă, tehnici optice. Problemele ridicate de aceste sisteme biometrice rezultă din modificarea în timp a geometriei mâinii (în special la persoanele cu afecțiuni reumatice), fraudarea sistemului optic de măsurare prin executarea unui mulaj după original, posibilitatea existenței mai multor persoane cu parametri geometrici asemănători etc. Erorile sistemului - de acceptare sau rejectare - sunt mai mici de 0.1%. Aspectul unor cititoare este prezentat în figura 1.18.

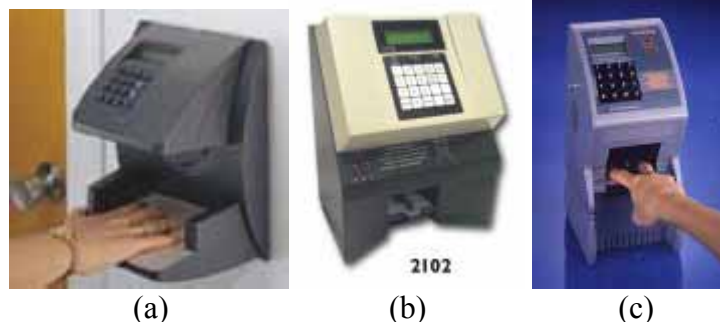


Figura 1.18. Măsurarea geometriei mâinii ([MEL1])

(a) Acropoint ATRx Biometric 1000 ; (b) ; Accu-Time Systems 2102, (c) Excel Systems

1.6.3. Ampretele papilare

După fotografie, aceasta este cea mai veche metodă biometrică folosită, până de curând, numai de cercetarea criminalistică. În țările dezvoltate, identificarea pe bază de amprente papilare este făcută obligatoriu pentru delincvenții care au încălcat legea (Statele Unite au peste 200 milioane de fișe dactiloscopice) iar, de curând, este folosită și de serviciile de emigrare din unele țări.

Folosirea amprentelor papilare pentru identificare prezintă câteva avantaje semnificative:

- există o experiență semnificativă, de aproape o sută de ani, în folosirea

amprentelor pentru identificare;

- informația primară este greu de falsificat dar, trebuie reținut că este, totuși, posibil;
- cantitatea de informație care trebuie memorată este redusă;
- algoritmi de prelucrare sunt simpli, folosindu-se numai modele matematice bidimensionale;

➤ prețul dispozitivelor de achiziționare a datelor este cel mai scăzut dintre toate echipamentele biometrice;

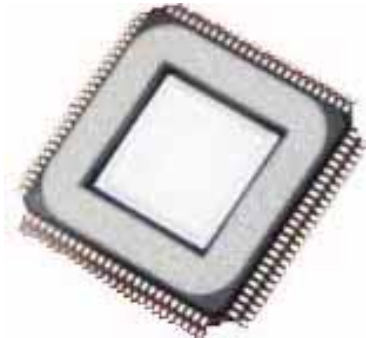
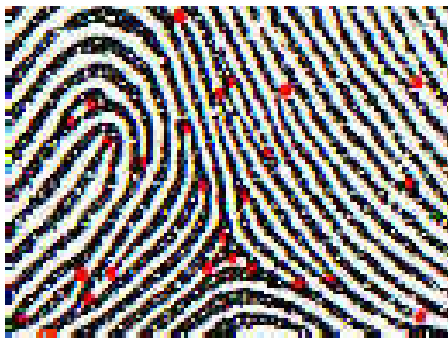
- precizia determinării persoanei este foarte bună;
- este o metodă complet neinvazivă;
- timpul de identificare este mai mic de o secundă.

Identificarea prin amprente papilare cunoaște două abordări: una folosește compararea între buclele, liniile și traseele dactiloscopice memorate în baza de date și amprenta persoanei de identificat; cealaltă presupune o verificare minuțioasă, a zonelor de început și de bifurcare a creștelor și adânciturilor papilare.

Tehnica informatică este folosită de mult în acest domeniu, existând aplicații, bazate pe metoda a doua de identificare, denumite generic AFIS (*Automatic Fingerprint Identification System*).

Procedura de lucru începe cu achiziționarea amprentei, după care sistemul marchează automat zonele de interes pentru descrierea creștelor și adânciturilor papilare (figura 1.19 (a)); punctele marcate pe amprentă sunt memorate ca niște coordonate carteziane și sunt comparate cu coordonatele memorate anterior de la amprente existente în baza de date.

Achiziționarea amprentei poate fi făcută prin metode criminaliste clasice: realizare fișă dactiloscopică pe bază de cerneluri, fotografiere fișă, scanare și verificarea automată a amprentei. Pentru controlul accesului, metoda respectivă nu este fezabilă datorită procedurii complicate, a timpului mare necesar impregnării cu tuș a degetelor, a culegerii pe hârtie a imaginii papilare și achiziției digitale.



a) Marcarea zonelor de verificare b) Circuit integrat cu câmp electric pentru culegerea amprentelor

Figura 1.19. Identificarea prin amprente papilare ([MEL1])

Există însă și alte metode de achiziție care folosesc tehnologii bazate pe măsurarea semnalului de radiofrecvență între suprafața subcutanată a degetului și cea a dispozitivului sau circuitele electrono-optice.

Dispozitivul de citire subcutanat, prezentat în figura 1.19 (b), are marele avantaj că citește amprenta chiar dacă degetul este acoperit cu un strat de murdărie sau cu alte pelicule relativ subțiri. Circuitul integrat specializat este format dintr-o matrice de antene care emit semnale radio; acesta sunt reflectate numai de stratul conductiv subcutanat, funcție de concentrația de electrolit a acestuia.

Semnalele reflectate sunt culese de același circuit și, funcție de puterea semnalelor, este construită o imagine bidimensională a reflectivității degetului la undele radio, identică cu

amprenta acestuia.

Circuitele optice sunt mai mici ca dimensiuni, dar pot fi derutate dacă amprenta este mascată intenționat.

Cititoarele de amprente sunt folosite nu numai pentru controlul accesului în obiective (figura 1.20) dar, datorită simplității lor, au început să fie necesare pentru identificarea la inițializare a utilizatorului unui calculator (figura 1.21).

Astfel, identificarea biometrică în rețelele de calculatoare prezintă un avantaj esențial: elimină orice posibilitate ca o persoană neautorizată să aibă acces la datele vitale, chiar posedând o parolă de *Log In* validă.

Tendința generală a producătorilor de dispozitive biometrice pentru autentificarea utilizatorului este de a combina mai multe metode de identificare: parole, cartele inteligente și dispozitive biometrice multifuncționale, făcând sistemul informatic practic inexpugnabil.

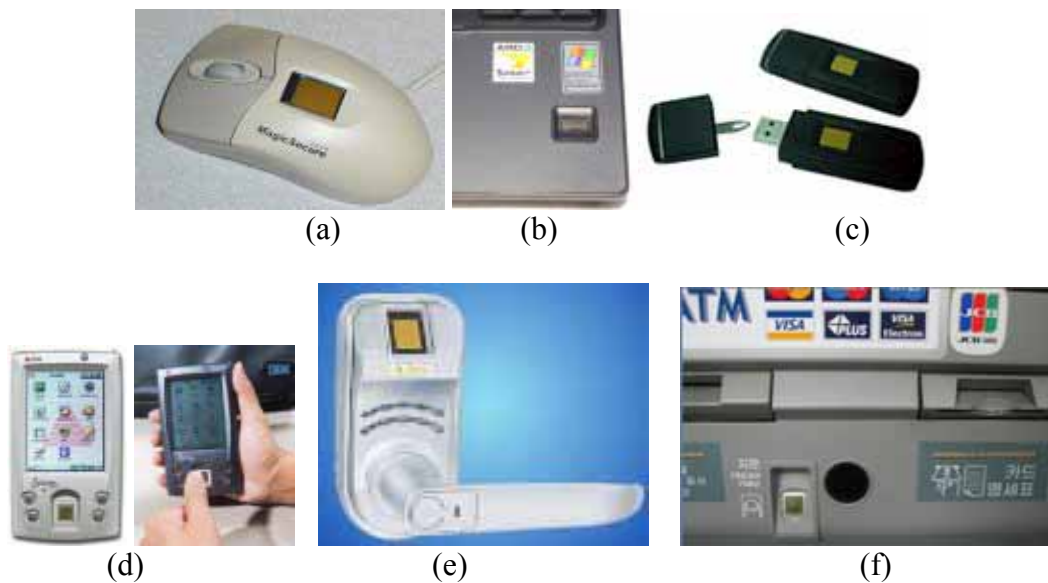


Figura 1.20. Cititoare de amprente
(a) Huno MagicSecure 3000 ; (b) HP nx6125 ; (c) Flash Disk BDS-1A;
(d) Paron MPC (PDA+GSM); (e) Foshan Nanhai M-T900 ; (f) ATM din Coreea



Figura 1.21. Log-are la un PC pe baza amprentei utilizatorului

1.6.4. Imaginea retinei

Imaginea retiniană constă în determinarea aspectului și mărimii vaselor de sânge existente în retină.

Este o metodă de identificare extrem de sigură însă este puțin folosită datorită caracterului invaziv. Persoana trebuie să-și scoată ochelarii sau lentilele de contact și să-și focalizeze privirea pe un punct, astfel încât sistemul optic al cristalinului să nu modifice focalizarea sistemului optic de citire.

În timp ce ochiul este ținut nemișcat, un fascicul infraroșu de mică intensitate scanează circular zona centrală a retinei. Cantitatea de lumină reflectată, modulată de diferențele de reflectivitate între vasele de sânge și țesutul înconjurător, este memorată și constituie informația care va fi prelucrată pentru identificare.

Algoritmul matematic folosit pentru comparare transformă mărimea vaselor de sânge într-o valoare numerică, memorată ca un cod de bare, fiind înregistrată totodată și poziția unghiulară a acestora. Procedura este descrisă grafic în figura 1.22.

Aspectul unui dispozitiv pentru achiziționarea imaginii retinei este prezentat în figura 1.23 (a) de la paragraful următor.

Procentul de acceptare falsă este nul, însă există o probabilitate de 0.4% de rejectare falsă.

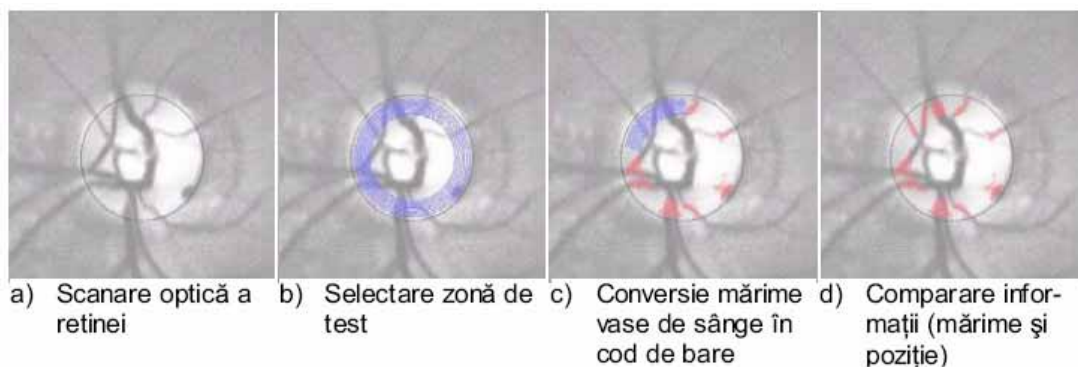


Figura 1.22. Identificarea pe baza imaginii retiniene ([MEL1])

1.6.5. Imaginea irisului

În anul 1987, doi oftalmologi, Leonard Flom și Aron Safir, au descoperit că irisul uman posedă caracteristici care permit folosirea imaginii sale pentru identificarea persoanelor. Ei au arătat, prin metode statistice, pe un eșantion cuprinzător de persoane, că irisul fiecărui ochi este specific fiecărei persoane, fiind diferit chiar și la gemenii univitelini.

Concomitent, au fost dezvoltați algoritmi matematici care folosesc ca bază de comparație aproape 250 de caracteristici independente ale irisului. Folosind acest model matematic, probabilitatea ca două persoane să aibă același iris este mai mică de 10^{-72} .

Sistemul este puțin invaziv, bazându-se în special pe tehnici fotografice. Imaginea irisului este preluată corect, chiar dacă persoana respectivă poartă ochelari sau lentile de contact. Substituirea persoanei este posibilă, dar foarte dificilă, fiind necesare lentile de contact care să imite toate caracteristicile folosite de sistemul de identificare.

Procedura de verificare constă în achiziționarea imaginii irisului, măsurarea și digitalizarea parametrilor folosiți pentru identificare și calculul corelației între datele achiziționate și informațiile stocate într-o bază de date. Recunoașterea irisului este extrem de efecace, fiind considerată mai performantă decât recunoașterea bazată pe amprente. Irisul

uman este aproape invariabil în timp și are aproape de șase ori mai multe caracteristici distinctive decât amprentele papilare. Au fost dezvoltate și sisteme care sunt protejate împotriva fraudării cu lentile de contact, măsurându-se variația și timpul de răspuns al irisului (irisul este iluminat o fracțiune de secundă cu un fascicul luminos; irisul reacționează și se contractă; o lentilă de contact – un iris fals – rămâne nemodificat). Mai mult, acești parametri pot oferi și informații asupra stării de sănătate a individului testat, precum și dacă acesta este sub influența alcoolului sau drogurilor.

Câteva dispozitive de achiziție a imaginii irisului sunt prezentate în figura 1.23 (b).

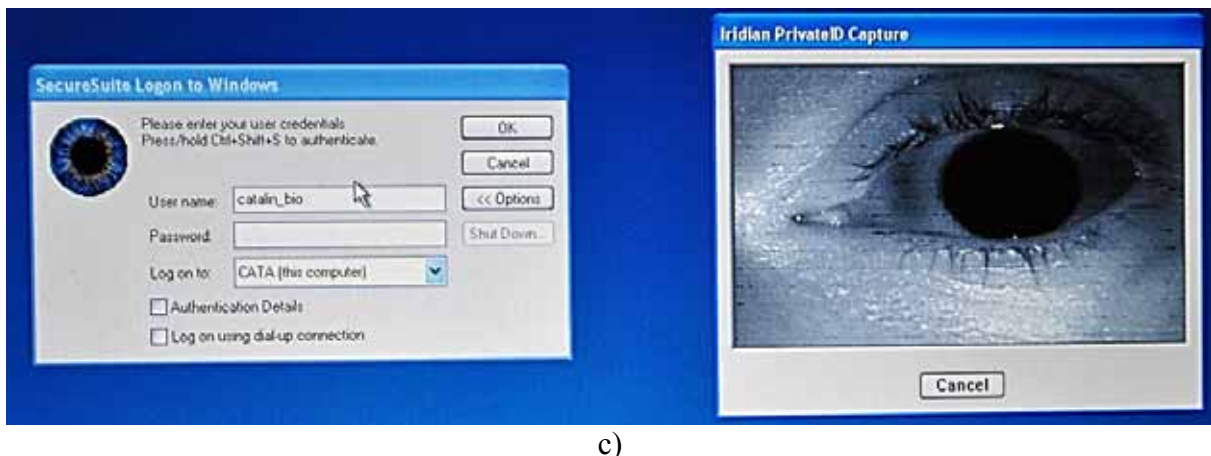


Figura 1.23. a) Scanner pentru retină b) Camere video pentru iris c) Log-area la un calculator folosind irisul utilizatorului

Cu toată constanța retinei și irisului, cele două elemente pot suferi modificări importante în timp datorită unor afecțiuni cronice, diabetului sau unei operații *by-pass*.

1.6.6. Termograma facială

Termograma facială este o fotografie a temperaturii feței unei persoane.

Temperatura este o rezultată între fluxul de căldură de la țesuturi, în special de la vasele de sânge, și căldura care provine chiar de la piele. De exemplu, temperatura pielii în zona unui vas subcutanat este cu câteva sutimi de grad mai mică decât temperatura sângelui care circulă prin vas, termograma prezentând astfel dispunerea și mărimea vaselor de sânge subcutanate, conductivitatea termică a oaselor, țesuturilor moi, cartilajelor, pielii etc., toate acestea fiind extrem de diferite de la o persoană la alta. Structura termică facială este imposibil de modificat, chiar prin chirurgie plastică sau alte metode imitative.

Datorită numeroșilor factori care influențează aspectul termogramei faciale și a multiplelor variații posibile ale acestor factori, existența unei termograme unice pentru o persoană este certă. Astfel, radiația calorică a feței este diferită chiar și în cazul gemenilor a căror recunoaștere este imposibilă prin alte metode de prelucrare a imaginii. Termograma facială se bazează pe structura termică a imaginii, nu pe temperatura ei absolută. Acest principiu asigură recunoașterea persoanei chiar dacă unele condiții pot varia: persoana poate veni dintr-un mediu cu temperatură ridicată sau coborâtă, ori poate avea chiar o afecțiune temporară care să-i modifice temperatura corpului cu câteva grade.

O termogramă facială este obținută prin explorarea feței cu un detector sensibil la radiații infraroșii. Termograma capturează o imagine a emisiilor faciale în infraroșu, obținută numai prin metode pasive, fără a fi emise niciun fel de radiații dăunătoare.

Pentru realizarea termogramei sunt folosite camere de termoviziune instalate la circa 45 cm de persoana care trebuie recunoscută; este posibilă și scanarea termică a persoanelor fără ca acestea să știe că sunt verificate. O cameră de termoviziune este constituită dintr-un sistem optic, un mecanism de scanare, un senzor în infraroșu și sistemul de înregistrare–afișare electronică. Imaginea obținută de termocameră este dificil de interpretat, fiind puține asemănări cu imaginea cunoscută a persoanei respective (figura 1.24).

Folosind tehnicile de calcul a corelației între imagini utilizate la sistemele imagistice clasice, recunoașterea persoanei este realizată în mai puțin de o secundă.

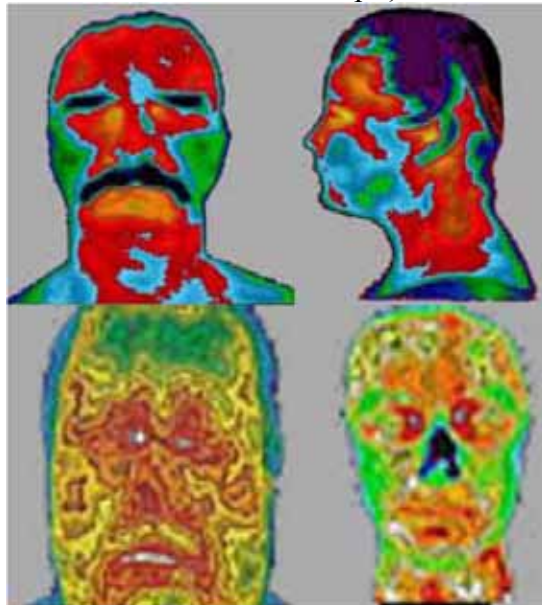


Figura 1.24. Termograma feței ([MEL1])

1.6.7. Recunoașterea vocală

Una din cele mai simple metode de identificare este recunoașterea vocală.

Caracteristicile vocale ale persoanelor sunt determinate de aspectele fiziologice ale sistemului vocal uman. Vibrațiile sonore sunt produse de corzile vocale; ulterior, oscilațiile sunt modificate de mărimea cavității bucale, de poziția limbii și de forma și mărimea buzelor.

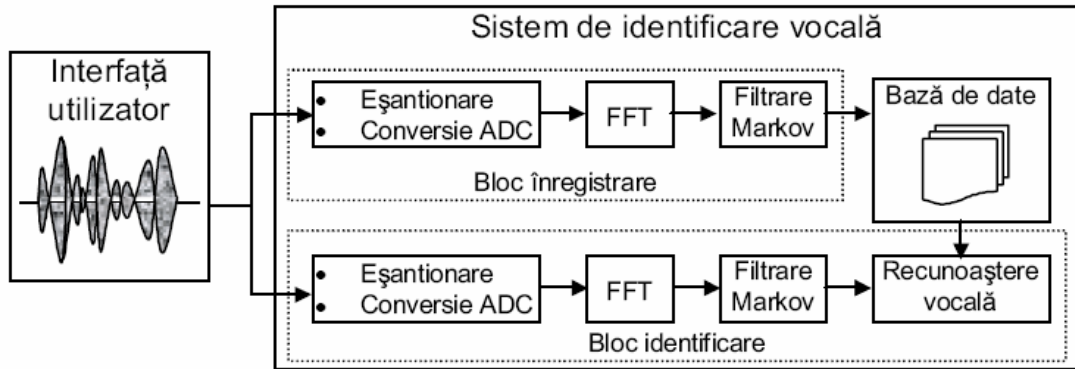


Figura 1.25. Diferențierea spectrală a semnalului vocal ([MEL1])

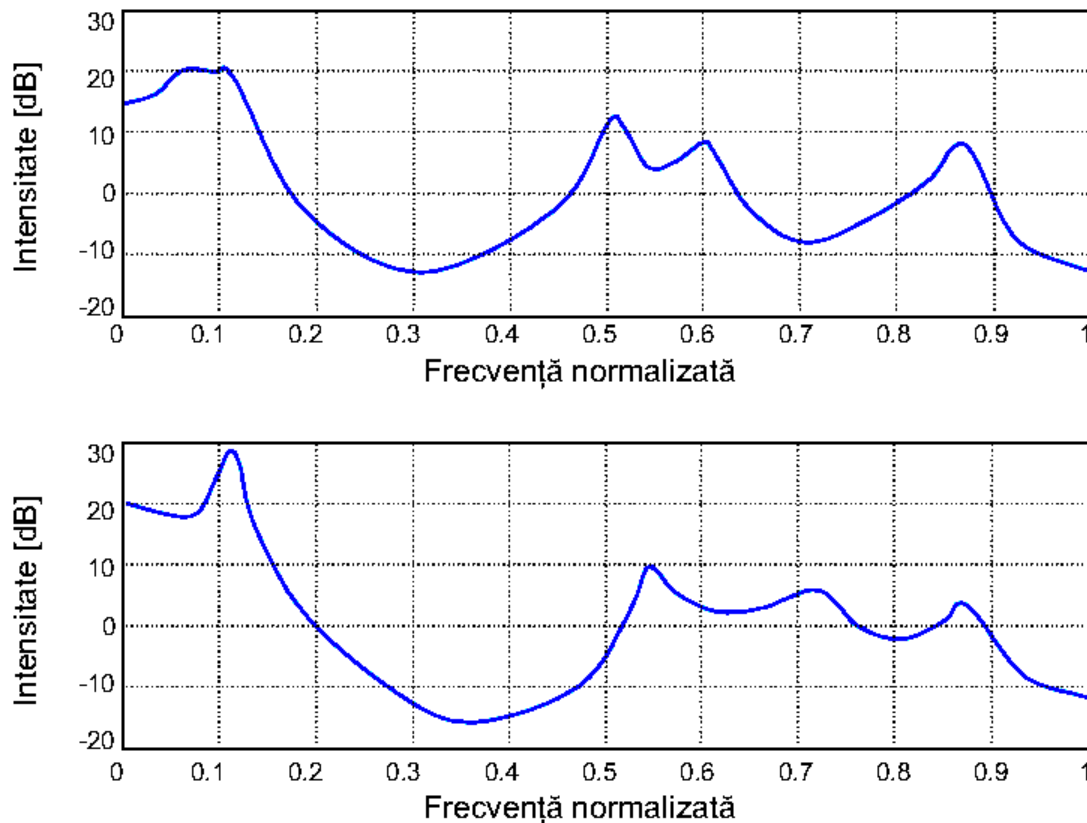


Figura 1.26. Schema bloc a sistemului de recunoaștere vocală ([MEL1])

Sistemul este ușor de indus în eroare, folosind o înregistrare audio a vocii persoanei care este substituită. Timpul necesar recunoașterii poate varia, de la producător la producător, de la 6 secunde până la 20 secunde.

Performanțele operaționale ale sistemelor au valorile de 4.3% rejectări false după o încercare și 0.9% după trei încercări.

1.6.8. Dinamica semnăturii

Folosirea semnăturii pentru identificare nu este nouă; este folosită de o lungă perioadă de timp pentru validarea tuturor documentelor legale. Totuși, utilizarea semnăturii ca metodă absolută de validare a identității este o problemă mult mai dificilă, rezolvată practic de puțin timp datorită dificultăților tehnice inerente.

Achiziția caracteristicilor semnăturii se realizează prin mai multe metode:

- creioane speciale, dotate cu senzori inerțiali în două coordonate și traductoare de măsură a presiunii, obținându-se semnale electrice asemănătoare cu cele din figura 1.27;
- creioane magnetice funcționale pe o tabletă specială, sistem care măsoară dinamica bidimensională; cu excepția celor magnetice, există sisteme care funcționează pe principii capacitive, inductive sau conductive;
- creioane optice, care măsoară caracteristicile bidimensionale ale semnăturii, citind poziția spotului pe un ecran cu tub catodic.

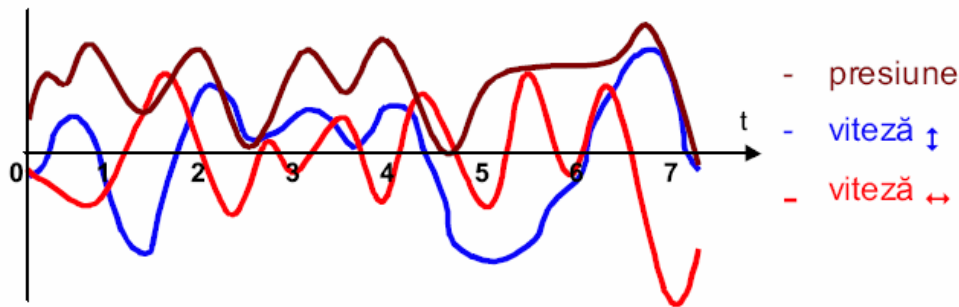


Figura 1.27. Caracteristicile dinamice ale semnăturii ([MEL1])

Informația memorată în baza de date poate consta în caracteristici dinamice ale mișcării creionului (viteze, accelerații, presiuni exercitate asupra suportului etc.) sau aspectul grafologic al semnăturii (forma și dimensiunea literelor, înclinarea scrisului, orientarea buclor etc.).

Pentru autentificarea semnăturii și identificare, informația produsă de cititor este comparată cu profilurile din baza de date folosind algoritmi corelativi. Pentru a preveni rejectările false, unele sisteme actualizează la fiecare utilizare profilul memorat în baza de date, rezolvând astfel problema modificării semnăturii o dată cu trecerea timpului.

Sistemele de identificare a semnăturii sunt folosite mai ales pentru servicii bancare, comerț sau pentru operațiunea de *Log On* al calculatoarelor. De regulă, se folosesc ca sistem de citire a semnăturii calculatoare portabile de tip *Palm Top*. Aceste dispozitive sunt dotate cu software specializat de recunoaștere a parametrilor dinamici ai semnăturii (viteze și presiune).

Rejectarea falsă are o probabilitate de 9% după o încercare și scade la 2% după trei încercări; validarea falsă are probabilitatea de 0.7% după trei încercări.

1.6.9. Amprenta ADN

O moleculă de ADN (Acid DezoXiriboNucleic), cu aspectul a două lanțuri răsucite denumită *elice dublă* (figura 1.28), este formată dintr-un mare număr de compuși chimici, numiți nucleotide.

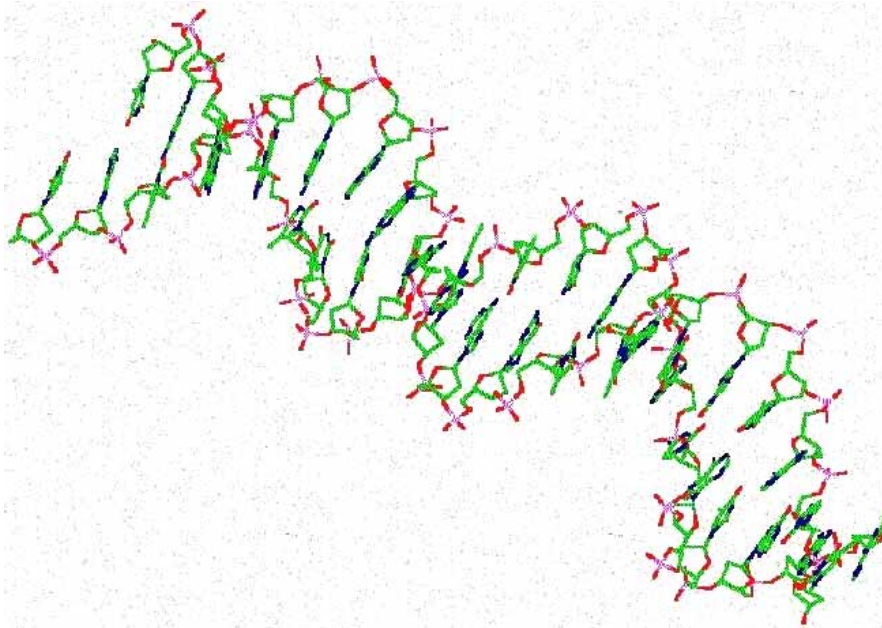


Figura 1.28. Fragment de moleculă ADN ([MEL1])

Molecula de dezoxiriboză ocupă poziția centrală în nucleotidă, mărginită într-o parte de grupul fosfatic și de o bază în cealaltă parte. Grupul fosfatic al fiecărei nucleotide este legat de molecula de dezoxiriboză a nucleotidei adiacente din lanț.

Fiecare nucleotidă este formată din trei componente: o moleculă de zahăr (numită dezoxiriboză), un grup fosfatic și una din cele patru baze. Cele patru baze sunt adenina (A), guanina (G), timina (T) și citozina (C).

Nucleotidele dintr-o elice a ADN-ului se asociază specific cu nucleotidele din perechea sa. Datorită afinităților chimice ale bazelor, întotdeauna nucleotidele conținând adenină se împerechează cu nucleotidele care conțin timină, iar cele care conțin citozină cu cele cu guanină. Această scurtă introducere în biologia celulară a fost strict necesară pentru a înțelege tehnicile de identificare specifice.

Inițial, testarea genetică a fost folosită pentru detectarea maladiilor genetice. Ulterior, la începutul anilor '80 tehnologia genetică a început să fie folosită pentru identificarea în scopuri criminalistice în Statele Unite și Marea Britanie.

Una din primele metode de identificare genetică, RFLP (*Restriction Fragment Length Polymorphism*), determină modificările dintre fragmente particulare de ADN obținute prin enzime de restricție specifice. Pentru aceasta este necesară o mare cantitate de ADN de foarte bună calitate.

Ulterior, procedura de identificare pe baza amprentei ADN prevedea, în primul rând, multiplicarea cantității de ADN; metoda de clonare a acidului dezoxiribonucleic este denumită PCR (*Polymerase Chain Reaction* – reacție în lanț a polimerazei).

Metoda de comparare între probele de ADN este denumită electroforeză. Aceasta separă moleculele componente ale ADN funcție de lungimea lor. Pentru *spargerea* ADN-ului în fragmente sunt folosite enzime de restricție. Soluția care conține aceste fragmente este introdusă într-un gel la care este aplicată o diferență de potențial. Fragmentele de ADN se deplasează de la polul negativ către polul pozitiv, cu viteze invers proporționale cu dimensiunea lor. După câteva ore, fragmentele ADN sunt complet separate, iar informația este memorată pe un film fotografic special; aspectul este similar cu cel al unui cod de bare, distanța între linii fiind dată de dimensiunea fragmentelor, iar grosimea liniilor de cantitatea de fragmente ADN cu dimensiunea respectivă (figura 1.29).

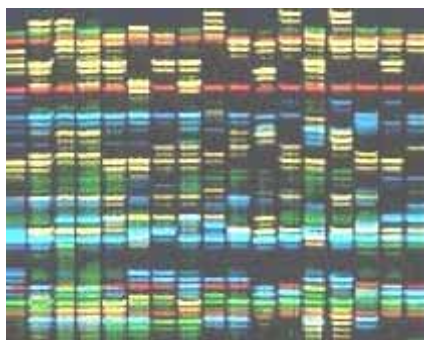


Figura 1.29. *Electroforeza probelor de ADN ([MELI])*

Precizii de identificare sporite se obțin prin metoda *Southern blots* (dezvoltată de biochimistul britanic Edwin Southern; termenul înseamnă *petele lui Southern*) care combină electroforeza cu hibridizarea (hibridizarea este un procedeu bazat pe principiul conform căruia o singură parte a elicei unui acid nucleic, ADN sau ARN, se va lega de o altă moleculă care este perechea complementară moleculei bazei. Procedura începe prin electroforeză, care separă ADN-ul în benzi de lățimi diferite. Apoi benzile ADN sunt transferate pe o hârtie specială unde acidul nucleic este desfăcut în elicele componente (procedeu denumit *denaturare*). Elicele sunt hibridizate cu secvențe de DNA complementare celor care se doresc a fi identificate. Deoarece secvența ADN adăugată conține markeri radioactivi, se poate folosi un film fotografic pe care se obține o imagine care indică în ce măsură ADN-ul probei s-a potrivit cu ADN-ul complementar.

Această idee a fost folosită pentru prima dată în anul 1983 în Marea Britanie într-un caz penal. De atunci, a căpătat o mare răspândire, fiind acceptată, în general, ca una din cele mai sigure metode de identificare.

Însă, datorită complexității sale, identificarea ADN nu a fost folosită până de curând în aplicații în timp real.

De curând, folosind o metodă împrumutată de tehnologia microelectronică, a fost dezvoltat un „bio-circuit” format dintr-o matrice din nucleotide.

Datorită noutății absolute, principiul de realizare și de funcționare a bio-circuitului este prezentat detaliat.

Prima etapă constă în definirea nucleotidelor care vor fi sintetizate, funcție de abilitatea acestora de a reacționa cu proba țintă sau genele utile ale acesteia. Cu aceste informații, un algoritm realizează proiectul unor măști fotolitografice, asemănătoare cu cele folosite în industria semiconductorilor, prin intermediul cărora nucleotidele sunt poziționate foarte precis pe un substrat inert biologic. Folosind aceste măști, pe substrat sunt depuse, în câțiva pași, nucleotidele necesare, pe mai multe circuite simultan, fiecare nucleotidă având o poziție specifică pe suprafața circuitului. După ce toate elementele au fost depuse, substratul este rupt în circuite distincte care apoi sunt încapsulate în cartușe speciale care le protejează de contaminare, acestea folosind totodată și pentru hibridizare.

Recunoașterea ADN se realizează prin depunerea acidului nucleic de identificat pe suprafața circuitului, urmată de hibridizarea între probă și bazele din bio-circuit. Separarea acidul nucleic în elice separate, obligatorie pentru hibridizare, se face prin expunerea probei la temperaturi ridicate, după care este declanșată hibridizarea între ADN-ul probei și bazele pereche din bio-circuit, marcate fluorescent.

După ce reacția de hibridizare este completă, circuitul este introdus într-un scanner care detectează, pe baza cantității de lumină emise, structura reacțiilor produse. Datele sunt colectate funcție de lumina emisă de substanța fluorescentă: probele care corespund cu celula corespunzătoare din circuit emit mai multă lumină. Deoarece poziția fiecărei celule este bine

stabilită, scannerul detectează ce nucleotidă a reacționat cel mai mult cu ADN-ul probă, realizând astfel identificarea acestuia. Secvențele procesului de identificare ADN sunt prezentate în figura 1.30

Chiar dacă această procedură este aparent complicată, metodele clasice de identificare ADN presupuneau o durată a testelor de cel puțin două săptămâni și cantități mari de acid nucleic de testat.

Bio-circuitele dezvoltate deocamdată sunt capabile să identifice lanțuri nucleice de 16÷20 molecule, având o sensibilitate de 10⁻⁵. Dimensiunea unei celule este de 20 de microni, astfel că circuitul are dimensiuni reduse.

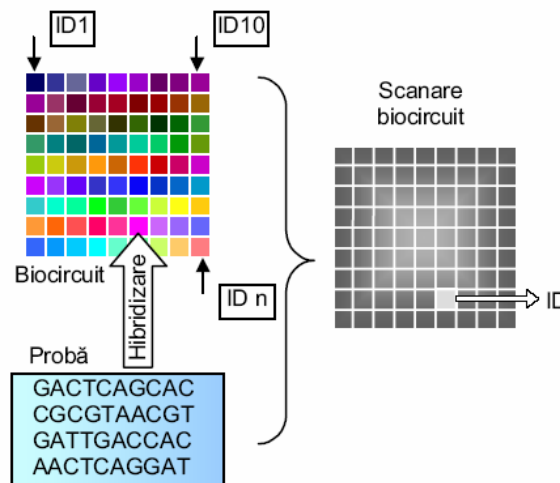


Figura 1.30. Etapele verificării ADN cu ajutorul bio-circuitului ([MEL1])

Totuși, până când numărul de probe ADN identificabile nu crește semnificativ, timpul de prelucrare al probei nu este redus și nu sunt realizate oligonucleotide care să poată discerne sigur indivizii diferiți aparținând aceleiași specii, aplicațiile de identificare cu bio-circuite sunt încă în faza incipientă.

1.6.10. Elemente artificiale de identificare

În decursul timpului, au existat astfel de elemente artificiale (cum ar fi tatuajul sau marcarea cu fier înroșit), însă aceste metode aparțineau timpurilor sclavagismului, subjugării rasiale sau sistemelor judiciare medievale.

Astăzi, etica și morala fiind cu totul altele, aceste sisteme de identificare sunt inacceptabile. Totuși, ceva bazat pe principii asemănătoare cunoaște o foarte largă dezvoltare. Astfel de indicatoare sunt larg folosite pentru identificarea produselor, ambalajelor, animalelor sălbatice sau animalelor domestice. Pentru identificare, se recurge la tot felul de proceduri, de la marcaje sau tatuaje cu coduri de bare, până la memorii de tip smart-card inserate sub piele sau emițătoare radio atașate animalelor. Există tendința, chiar în cele mai democratice țări, ca astfel de metode să fie aplicate și oamenilor. Sunt tehnologii ceva mai blânde, care presupun utilizarea unor coliere sau brățări, utilizate pentru identificarea nou-născuților, pacienților aflați în comă profundă sau suferinzi de senilitate avansată.

Au existat propuneri de folosire a acestor indicatori și pentru recunoașterea altor persoane instituționalizate (deținuți, prizonieri, schizofrenici etc.) dar, societățile în care respectul față de drepturile omului ocupă un loc central, nu pot admite așa ceva.

CAPITOLUL II

Stadiul actual al recunoașterii persoanelor după amprenta digitală

2.1. INTRODUCERE

2.1.1. Structura pielii și formarea creștelor papilare

Pielea este învelișul care îmbracă întreaga suprafață a corpului uman. Ea este formată din trei straturi: epiderma, derma și hipoderma (fig. 2.1)

Epiderma (din gr. *epi* = pe ; *dermo* = piele) este partea superioară a pielii, fiind alcătuită din mai multe straturi de celule epiteliale. Celulele superioare ale epidermei sunt celule moarte și formează un strat cornos relativ dur, care face din epidermă un înveliș protector al pielii.

Derma sau pielea propriu-zisă, este un țesut fibros, viu, conjunctiv și elastic. El conține vasele capilare, vasele arteriale și venoase, precum și terminațiile a numeroși nervi senzitivi.

Hipoderma este stratul cel mai profund, situat sub dermă, care face legătura între piele și organele interioare.

La punctul de contact cu epiderma, la partea superioară, derma prezintă o serie de proeminențe, de ridicături conice, care se numesc *papile* (din gr. *papila* = proeminență). În vârful papilelor, ce sunt străbătute fiecare de câte un canal, se află porii prin care este eliminată transpirația. Papilele dermice sunt înșiruite liniar, unele lângă altele. Rândurilor de papile le corespund rândurile de crește papilare situate la suprafața dermei (fig. 2.2).

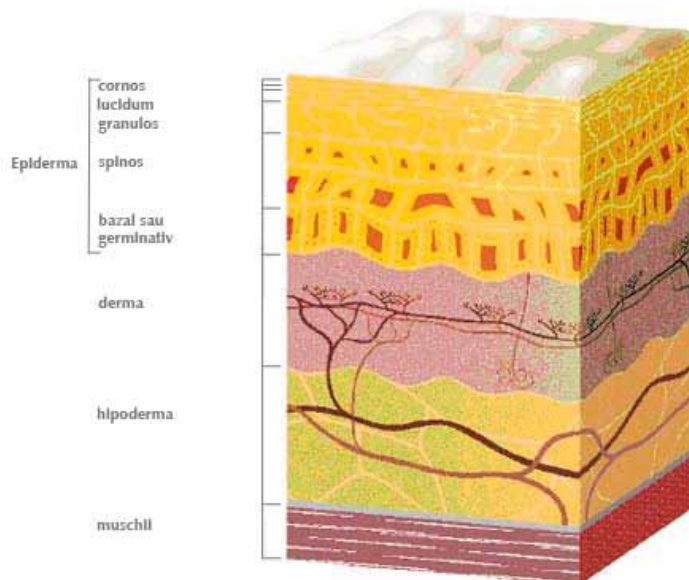


Figura 2.1. Secțiune transversală prin piele

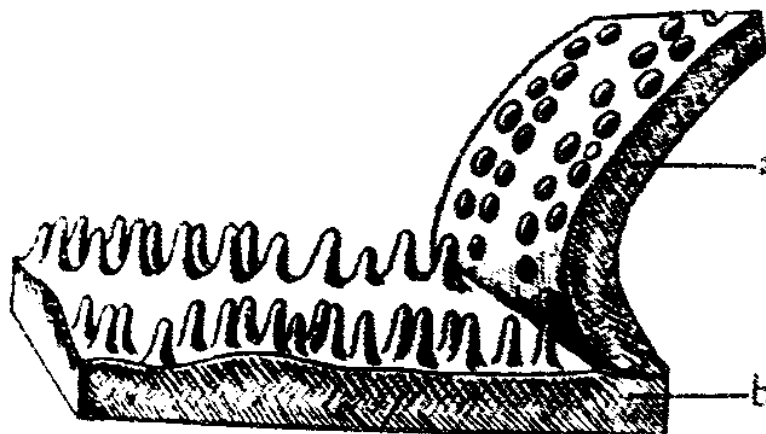


Figura 2.2. *Derma de pe care s-a dezlipit epiderma*
 a) *epiderma în care se mulează papilele;*
 b) *papilele conice ale stratului papilar ([PACO1])*

Crestele papilare care se formează la suprafața dermei au o înălțime ce variază între 0,1÷0,4 mm și o lățime între 0,2÷0,7 mm. Ele sunt despărțite de niște văi numite „șanțuri papilare”, ce au aceleași dimensiuni ca ale creștelor pe care le separă.

Forma creștelor papilare de la suprafața dermei este produsă identic de stratul epidermic, ceea ce face ca în exterior epiderma să prezinte aceleași caracteristici ca și derma. Transpirația excretată de glandele sudoripare și substanțele grase (sebum) secretate de glandele sebacee formează la suprafața epidermei un strat de săruri și grăsimi care, la contactul cu un obiect, se depun pe acesta și redau întocmai forma creștelor papilare.

De asemenea, creștele papilare sunt legate de simțul tactil datorită terminațiilor senzitive care sunt localizate în dermă și cu cât papilele – și, în consecință, creștele papilare – sunt mai numeroase, cu atât simțul tactil este mai dezvoltat. Prin aceasta se explică și multitudinea de crește papilare existente pe suprafața interioară a mâinilor și picioarelor.

Crestele papilare existente pe suprafața pielii, de pe interiorul mâinilor și de pe talpa picioarelor, formează *desenul papilar*, un desen pe cât de complicat, pe atât de util în identificarea unei persoane.

Din desenele papilare sunt considerate ca făcând parte și încrețiturile pielii care străbat transversal creștele papilare, denumite *linii albe*, precum și liniile ce se formează pe epidermă în zona șanțurilor flexorale.

Desenele papilare imprimate pe suprafața unor obiecte, cunoscute și sub denumirea de dactilograme, sunt de două feluri:

- dactilograme care reprezintă desenele papilare imprimate voluntar. În limbajul de specialitate acestea sunt denumite fie amprente papilare, fie impresiuni, fie amprente de comparat;

- dactilograme care reprezintă desenele papilare imprimate involuntar pe un obiect oarecare. Sunt denumite *urme papilare* sau *amprente în litigiu*.

În funcție de locul unde se află situat pe suprafața pielii desenul papilar, *impresiunile* și *urmele* pot fi:

- *digitale*, când reprezintă creștele papilare de pe suprafața interioară a degetelor;
- *palmare*, când reprezintă creștele papilare de pe întreaga suprafață interioară a palmelor;
- *plantare*, când reprezintă creștele papilare de pe talpa picioarelor.

2.1.2. Proprietățile desenelor papilare

2.1.2.1. Unicitatea sau individualitatea desenului papilar

În lucrare [PACO1] se precizează faptul că cercetătorii în materie de dactiloscopie, pe baza studiilor efectuate și a experienței practice în acest domeniu, au ajuns la concluzia certă că este imposibil a se întâlni două persoane cu desene papilare identice. Fiecare desen papilar al fiecărui deget are o morfologie unică neexistând două degete cu desene identice, chiar la aceeași persoană.

După un calcul matematic, prin aranjamente și combinații, efectuat de către Galton și de către Balthazard, la care, de fapt, nu s-au luat în considerare toate elementele, s-a ajuns la rezultatul că la cca 64 miliarde desene s-ar putea găsi două desene papilare cu caracteristici coincidente. Totuși, se poate considera acest lucru imposibil, deoarece, conform legilor naturii, nu se admite existența a două lucruri absolut identice. Într-adevăr, dacă se iau în considerare și alte elemente decât cele patru avute în vedere de Balthazard, se constată, folosind formula probabilității compuse, că practic nu se pot găsi două amprente identice.

Unicitatea se explică prin varietatea desenelor papilare. Ele sunt variate atât în ceea ce privește forma generală, cât și în amănunțele construcției creștelor ce le compun. Chiar dacă se găsesc două desene papilare asemănătoare între ele, părând la prima vedere că ar fi identice, la o examinare amănunțită se poate vedea că detaliile formei creștelor papilare nu mai corespund ca număr, formă și plasament.

2.1.2.2. Fixitatea (stabilitatea) desenului papilar

Desenul papilar apare în luna a treia a vieții intrauterine a fătului și primește forma definitivă în luna a șasea. El nu se schimbă nici după moartea persoanei, ci se distruge prin procesul putrefacției țesuturilor.

Prin dezvoltarea organismului omului, intervin o serie de schimbări datorită „vârstei sau anumitor boli”, însă „forma desenului papilar rămâne aceeași”. Cercetările experimentale efectuate au dovedit că, luând impresiunile digitale de la o persoană la intervale mari de timp și comparându-le între ele, se observă că structura lor rămâne aceeași, modificându-se doar dimensiunile.

Încercările de distrugere a reliefului pielii prin fiecare, arsuri superficiale sau procedee chimice nu pot înlătura desenul papilar decât vremelnic, deoarece, într-un timp scurt, după regenerarea pielii, acest desen apare din nou.

Pentru a se convinge de acest adevăr, criminalistul francez Edmond Locard a experimentat pe propriile-i degete. Arzându-se cu fierul roșu, cu apă clocotită și cu ulei încins, a constatat că, după vindecare, forma și detaliile desenului său papilar au rămas neschimbate. Aceasta se explică prin faptul că papilele sunt așezate în stratul de profunzime al pielii și în cazurile de rănire ușoară, prin care nu li se afectează integritatea, creștele papilare se regenerează în forma lor anterioară.

Sunt cunoscute în acest sens cazurile cioplitorilor în piatră, zidarilor, celor ce lucrează cu diferite substanțe chimice corosive ale căror desene papilare se alterează frecvent în procesul activității specifice. Încetând de a mai veni în contact cu asemenea corpuri sau substanțe, după 8 - 10 zile epidermul se va reface și va continua să prezinte aceleași caracteristici ale desenului papilar ca înainte de alterare.

Arsurile și tăieturile profunde care atacă dermul, după vindecare fac să nu mai apară desenul papilar, însă rămân cicatrice, care reprezintă caracteristici deosebit de importante în identificarea dactiloscopică, având în vedere forma lor și locul pe care-l ocupă în morfologia desenului.

2.1.3. Structura desenelor papilare

Degetul de la mână are trei falange care constituie, fiecare în parte, o zonă papilară a degetului respectiv, despărțită de celelalte prin șanțuri flexorale.

Cele trei falange poartă următoarele denumiri, începând de la vârful degetului spre baza lui: *falangeta*, *falangină* și *falangă*, la fel numindu-se și șanțurile flexorale de la baza fiecărei falange, respectiv șanțul flexoral al falangetei, al falanginei sau falangei (fig. 2.3).

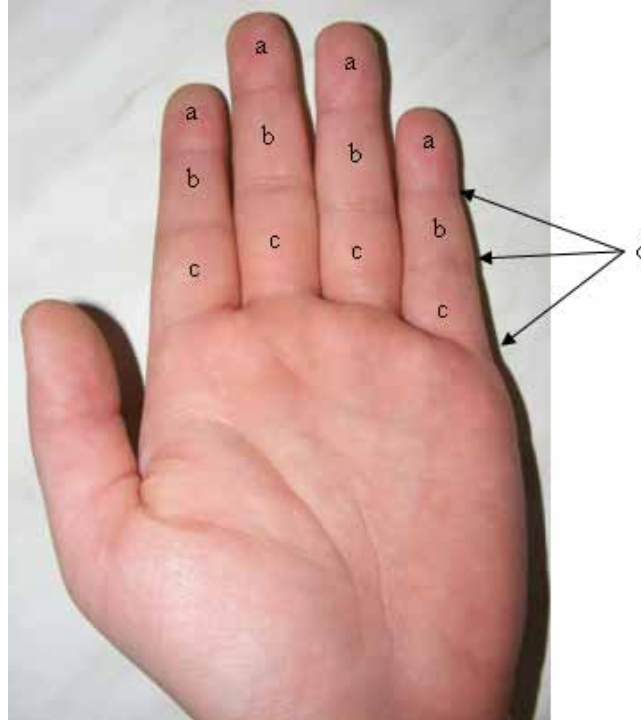


Figura 2.3. Zonele papilare de la degetele mâinii:

- a) zona falangetei;
- b) zona falanginei;
- c) zona falangei;
- d) șanțuri flexorale.

Dintre desenele papilare pe care le prezintă un deget cele ale falangetei au forme foarte variate.

Studiind cu atenție desenul papilar de la o falangetă, începând cu marginea degetului, respectiv a desenului papilar, și urmărindu-se prima creastă se constată că ea pornește dintr-o latură a desenului, aproape de bază, își urmează traseul chiar pe marginea vârfului degetului și-l încheie în cealaltă parte, descriind un arc de cerc. Continuându-se studiul cu traseul crestei care este situată imediat sub aceasta, se va constata că – făcând abstracție de forma sa particulară – are același traseu al unui arc de cerc ca și prima creastă.

Examinându-se mai departe, se va observa că la un moment dat crestele nu mai au forma unui arc; ele nu-și mai încep traseul dintr-o margine a desenului continuând până la marginea opusă, ci traseele lor au forma unor lațuri, spirale sau cercuri introduse unul în altul și din ce în ce mai mici până se ajunge în centrul desenului care poartă numele de *nucleu*.

Dacă se reia acest studiu, începându-se cu prima creastă de la baza desenului, vecină chiar cu șanțul de flexiune, se va constata că forma traseului este, aproximativ, o linie relativ orizontală și paralelă cu șanțul flexoral, luând în final tot forma unui arc, dar mai puțin boltit decât arcurile de la vârful degetelor. Urmărindu-se creasta imediat superioară se descoperă că are o formă asemănătoare cu prima, la fel și următoarele, până când se va întâlni o creastă care are fie forma unui laț, fie a unei spirale sau cerc, și tot așa și următoarele, până se va ajunge iar în nucleu.

Din cele descrise conchidem că în structura desenului papilar al falangetei se disting trei sisteme de creste papilare: arcuri puternic boltite (convexe) la vârful și marginea degetului, arcuri slab boltite la baza desenului lângă șanțul de flexiune și lațuri, cercuri ori spirale în regiunea centrală a desenului care include și nucleul său.

Crestele ce se găsesc pe zona papilară a falangetei pot fi împărțite după forma și poziția lor în trei grupuri care determină formarea a tot atâtea regiuni (vezi fig. 2.4). Astfel, crestele situate pe vârful și pe marginile falangetei alcătuiesc regiunea marginală și au în general forma conturului degetului, adică a unor arcuri de cerc cu convexitatea îndreptată spre vârful acestuia. Crestele papilare care se găsesc în centrul desenului formează *regiunea centrală*. Ea este regiunea cea mai importantă a desenului papilar, deoarece aici forma și direcția creștelor papilare variază, permițând o clasificare precisă a desenelor papilare.

Crestele papilare situate în vecinătatea șanțului de flexiune au o formă, în general, rectilinie; ele sunt orientate relativ orizontal și paralel cu șanțul de flexiune care desparte falangeta de falangină. Acestea formează *regiunea bazală*. Cele trei regiuni ale desenului papilar sunt despărțite între ele de creste papilare care se numesc *limitante*, astfel: ultima creastă din regiunea marginală, care este vecină cu regiunea centrală, poartă denumirea de *limitantă superioară* și desparte regiunea marginală de cea centrală; creasta din regiunea bazală vecină cu regiunea centrală se numește *limitantă inferioară*.

În traiectoria ei, limitanta superioară întâlnește limitanta inferioară într-unul sau mai multe puncte ale desenului papilar, unde, fie că se contopesc, fie că își continuă traiectul paralel. La locul de contact al limitantelor se întâlnesc cele trei regiuni papilare ale amprente digitale și se formează o figura triunghiulară, care poartă denumirea de *deltă*. Această denumire i-a fost dată avându-se în vedere asemănarea triunghiului format cu litera grecească Δ (delta).



Figura 2.4. Regiunile diferitelor forme ale desenului papilar al falangetei: a – regiunea marginală; b – regiunea centrală; c – regiunea bazală; L.s. = limitanta superioară; L.i. = limitanta inferioară ([PACO1])

Există totuși unele desene papilare la care nu se găsesc lațuri, cercuri sau spirale în regiunea centrală. La aceste desene, se observă numai arcuri pe toată suprafața, iar delimitarea celor trei regiuni este o operație mai dificilă, în lipsa deltelor.

În cazul desenelor papilare ale căror creste formează două triunghiuri, regiunea centrală (nucleul) este înconjurată în ambele părți laterale, precum și spre vârful falangetei, de cea marginală, iar în partea dinspre șanțul de flexiune, de regiunea bazală. În această situație, regiunea centrală prezintă un *nucleu închis*. La desenele ale căror creste papilare formează numai un singur triunghi sau nici unul, regiunea centrală, având deschiderea spre una sau spre ambele laturi ale falangetei, prezintă un *nucleu deschis* (fig. 2.5).

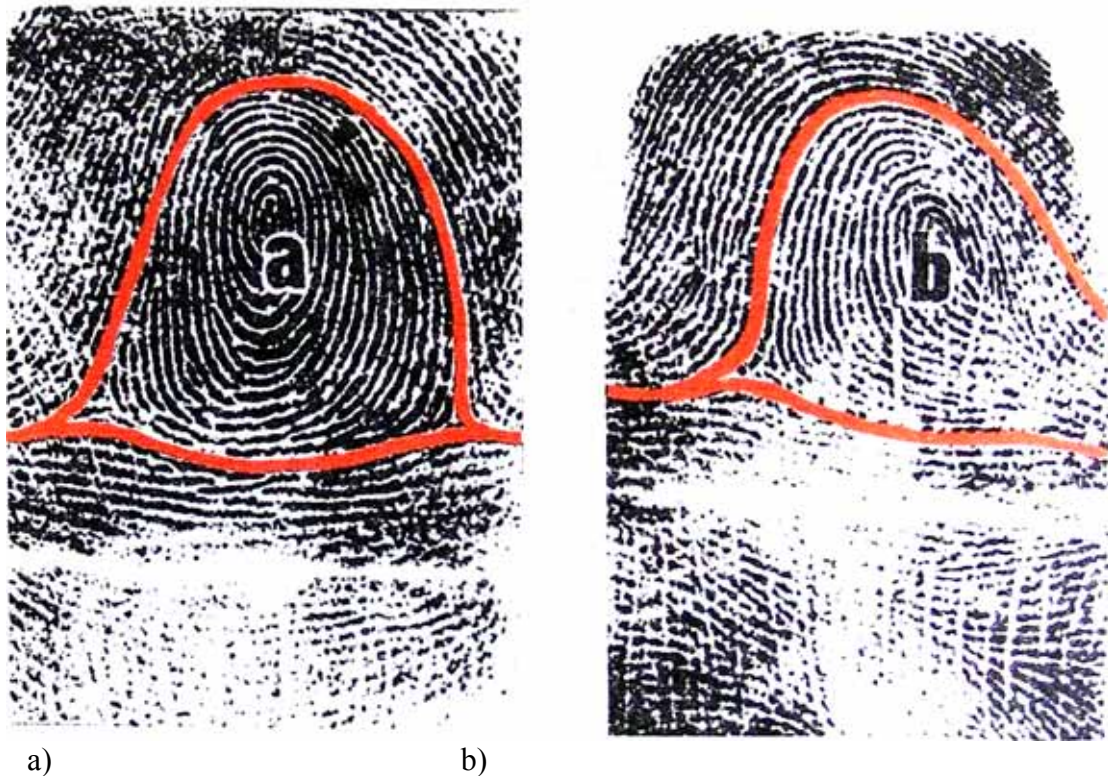


Figura 2.5. a) *Nucleu închis*; b) *Nucleu deschis* ([PACO1])

În raport cu forma triunghiului care ia naștere în punctul de contact a celor trei regiuni, deltele pot fi de două feluri: *deltă neagră* și *deltă albă*.

Delta neagră este formată din contopirea limitantelor într-un punct al dactilogramei, unde dau naștere unei formații asemănătoare literei majuscule „Y” (vezi figura 2.6).

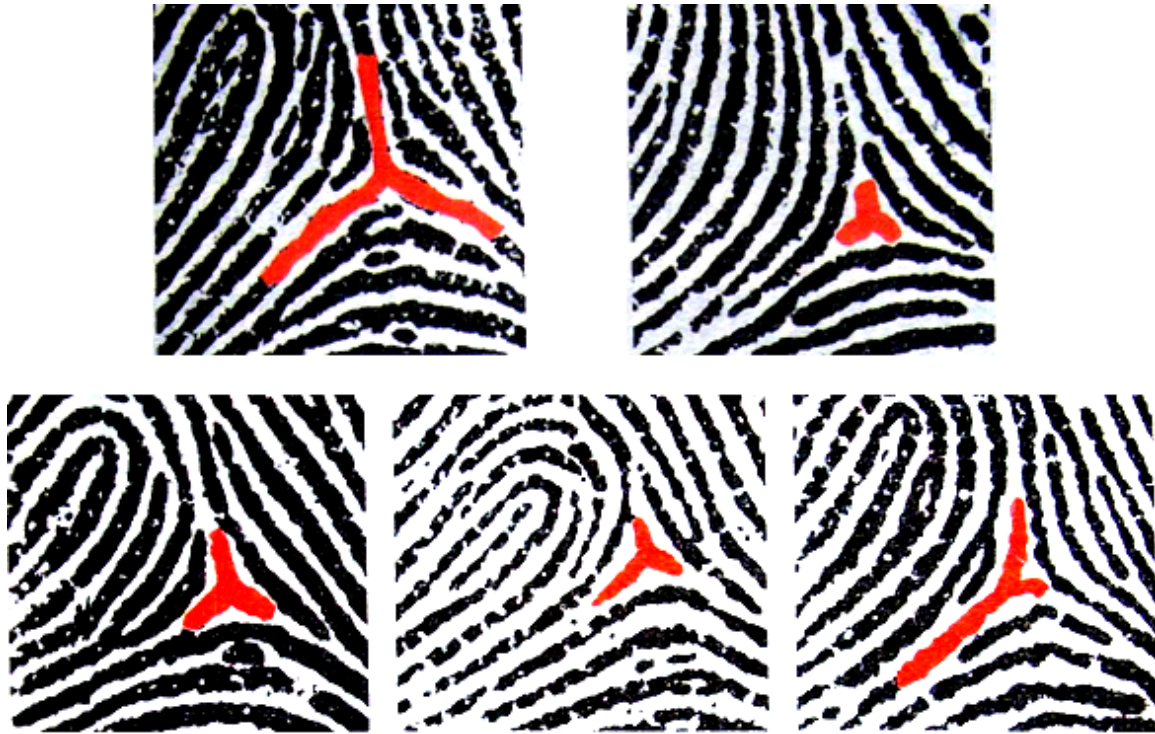


Figura 2.6. Delta neagră:

- a) deltă neagră lungă; b) deltă neagră scurtă; c) deltă neagră cu brațe egale; d) deltă neagră cu două brațe egale; e) deltă neagră cu brațe inegale.*
 ([PACO1])

Punctul de contact al celor două limitante poartă denumirea de punct deltic.

În funcție de lungimea brațelor care formează deltele negre, acestea pot fi de mai multe feluri:

- deltă neagră lungă care are în componența sa două sau toate trei brațele prelungite de cinci ori mai mult decât grosimea unei creste papilare;
- deltă neagră scurtă care are două sau toate brațele mai scurte decât de cinci ori grosimea unei creste papilare, respectiv până la 4,5 mm.

De asemenea, deltele negre mai pot fi cu brațe egale, cu două brațe egale și cu brațe inegale.

De/tu albă este constituită de spațiul triunghiular format în punctul de contact al celor două limitante, care este delimitat atât de aceste creste, cât și de o a treia creastă papilară (din regiunea centrală) aflată în imediata apropiere.

Ea se clasifică astfel: deltă albă deschisă la toate unghiurile, deltă albă deschisă la două unghiuri, deltă albă deschisă la un unghi și deltă albă închisă la toate unghiurile (fig. 2.7).

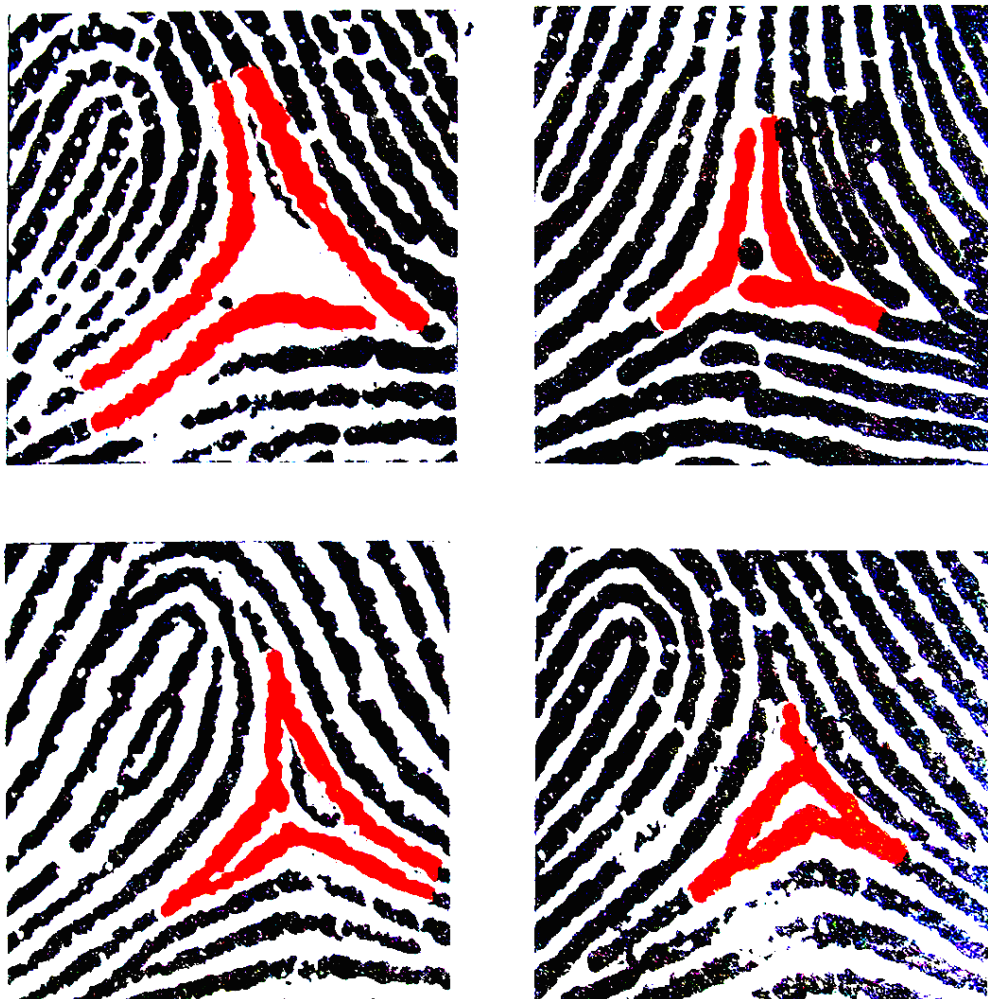


Figura 2.7. *Deltă albă: a) deltă albă deschisă la toate unghiurile; b) deltă albă deschisă la două unghiuri; c) deltă albă deschisă ta un unghi; d) deltă albă închisă la toate unghiurile ([PACO1])*

În cazul deltelor albe, punctul deltic îl constituie centru! spațiului triunghiular care, în unele dactilograme, este marcat de o creastă papilară asemănătoare unui punct izolat.

2.1.4. Tipurile, subtipurile și varietățile desenelor papilare

Tipurile sunt grupe mari de desene papilare împărțite după forma generală a creștelor care alcătuiesc regiunea centrală. După acest criteriu, toate desenele papilare se împart în cinci tipuri fundamentale:

- tipul arc (adeltic);
- tipul laț (monodeltic);
- tipul cerc (bideltic);
- tipul combinat (polideltic);
- tipul amorf.

Cele cinci tipuri fundamentale ale desenelor papilare prezintă, la rândul lor, multiple particularități care permit ca unele dactilograme să poată fi deosebite cu ușurință de altele, deși ca formă generală sunt de același tip.

Luându-se în considerare și alte criterii, ca nucleul, poziția sau numărul deltelor, fiecare tip se divide la rândul său în grupe mai mici numite subtipuri și varietăți.

Prima definiție a tipurilor de desene papilare a fost făcută de Jan Evangeliste Purkinje. El a categorisit nouă tipuri de desene papilare. Tipurile de dactilograme digitale definite de Purkinje au stat la baza tuturor clasificărilor și subclasificărilor adoptate mai târziu pentru divizarea dactilogramelor în grupuri cât mai mici.

2.1.4.1. Tipul arc (adeltic)

Tipul arc, cunoscut și sub numele de adeltic, este cel mai puțin răspândit, însumând circa 7,1% din totalul dactilogramelor. El are o formă foarte simplă.

La desenele de tipul arc, crestele papilare pornesc de la o margine a falangetei spre cealaltă, urmând aceeași direcție cu crestele ce se află în regiunea bazală, din dreapta către stânga.

Cu cât crește depărtarea față de regiunea bazală, cu atât crestele papilare se curbează mai puternic formând o convexitate către vârf fără a se întoarce către marginea de unde au plecat, fiind asemănătoare arcurilor de cerc, de unde și denumirea de tip arc.

Datorită faptului că dactilograma de acest tip nu are decât două feluri de creste papilare (ușor curbate și puternic curbate), în zona centrală nu se vor găsi lațuri, cercuri și spirale, iar cele trei regiuni specifice ale desenului papilar digital nu pot fi distinct limitate între ele. Din această cauză tipul arc nu are nici delte, fapt pentru care se mai numește tip adeltic.

Tipul arc se împarte la rândul său în două subtipuri : arc simplu și arc pin (piniform). În figura 2.8 se prezintă câteva desene papilare care conțin tipul arc.

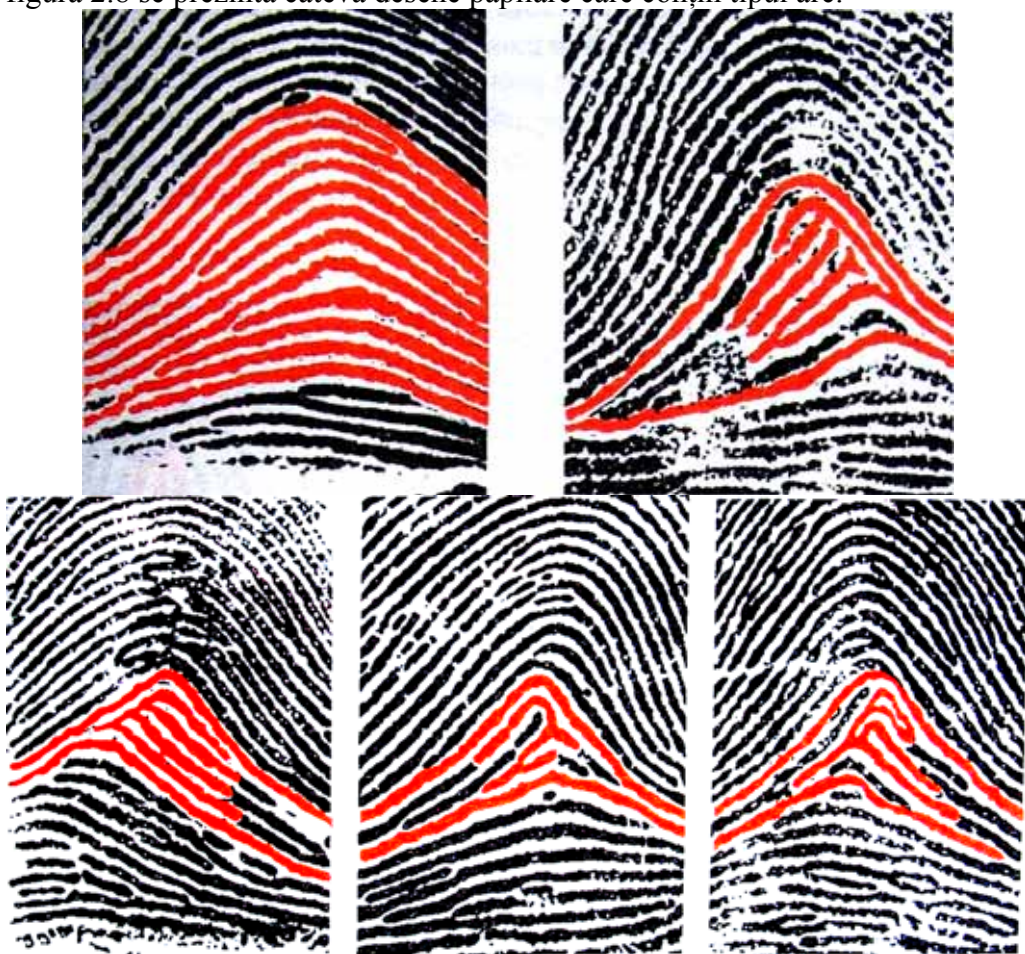


Figura 2.8. Desene papilare conținând tipul arc ([PACO1])

2.1.4.2. Tipul laț (monodeltic)

Acest tip al desenelor papilare este cel mai răspândit însumând 59,7% din totalul dactilogramelor.

Este denumit tip laț acel desen papilar în care una sau mai multe creste din regiunea centrală pornesc dintr-o margine a desenului papilar de pe falangetă, se îndreaptă către marginea opusă, fără să o atingă, se încovoie, formând o buclă (laț) și se întorc la marginea de unde au plecat. Deci, denumirea vine de la forma generală a creștelor papilare din regiunea centrală, care sunt asemănătoare unor lațuri introduse unul în altul. În literatura de specialitate dactilogramele de acest fel se mai numesc și bucle.

Examinând un laț în mod izolat, se distinge la el următoarele părți componente: capul lațului (partea rotunjită); brațele lațului; deschizătura lațului (figura 2.9).

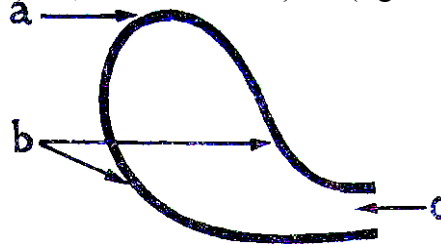


Figura 2.9. Structura unui laț:
a) capul lațului (partea rotunjită); b) brațele lațului;
c) deschizătura laț ([PACO1])

Lațurile pot fi orientate vertical, oblic sau orizontal și, totodată, pot avea brațele lungi sau scurte.

La tipul laț se distinge destul de ușor cele trei regiuni specifice desenului papilar digital, precum și cele două limitante. În punctul unde se întâlnesc aceste regiuni se formează numai o singură deltă, astfel că acest tip de dactilograme se mai numește și tip monodeltic. Delta se găsește întotdeauna în partea opusă deschizăturii lațului.

Pentru ca un desen papilar să fie încadrat în tipul laț, este suficient să aibă în regiunea centrală cel puțin un singur laț liber, cu condiția ca acesta să nu fie lipit de una din limitante.

În cazul când în centrul desenului se găsește un singur laț și acesta este liber, atunci dactilograma respectivă face parte din tipul arc, subtipul arc simplu sau arc pin, varietatea cu laț în dreapta sau în stânga.

În figura 2.10 se prezintă două exemple din tipul laț.



Figura 2.10. Desene papilare conținând tipul laț ([PACO1])

2.1.4.3. Tipul cerc (bideltic)

Este format din creste papilare care urmează circular curbura falangetei și, prin unirea cu punctul de plecare, dau naștere la două unghiuri situate în extremități opuse. Intre brațele acestor două unghiuri, crestele papilare existente se rotesc asemănător unui vârtej, de unde și numele de tip cerc sau verticil.

Dactilograma de tip cerc, ca și cea de tip laț, are întotdeauna în structura ei clar delimitate cele trei regiuni specifice desenului papilar digital. Deoarece, la acest desen papilar, centrul se prezintă în formă de cercuri concentrice, în spirale, în forme ovoidale sau în lațuri contrare – care se încolăcesc între ele regiunea centrală va fi un desen complet închis și de formă circulară, astfel încât cele trei regiuni se întâlnesc în două puncte unde se formează două delte; de aceea se mai numește și *tip bideltic*.

Dactilogramele digitale bideltice pot fi recunoscute după configurația creștelor papilare care formează nucleul desenului și, în raport cu acesta, sunt divizate în șapte subtipuri.

În figura 2.11 se prezintă două exemple de dactilograme care conțin tipul cerc.



Figura 2.11. Amprente digitale care conțin tipul cerc ([PACO1])

2.1.4.4. Tipul polideltic

Acest tip cuprinde dactilogramele digitale care au o formă mai rar întâlnită și este constituit din combinarea unuia sau a două desene de tipul laț cu unul de tip cerc, sau prin combinarea a două desene de tip cerc, în urma căreia rezultă întotdeauna un desen papilar cu mai mult de două delte, de unde și denumirea de tip polideltic (figura 2.12).

În raport cu numărul deltelor, tipul combinat se împarte în două subtipuri: trideltic și quadrodeltic.

În figura 2.12 se prezintă două exemple de amprente ce conțin tipul polideltic.



Figura 2.12. *Amprente papilare ce conțin tipul polideltic ([PACO1])*

2.1.4.5. Tipul amorf

Tipul amorf cuprinde dactilogramele digitale care au crestele nesistematizate pe regiuni. Caracteristica sa constă în topografia neregulată a creștelor papilare, de unde își trage și denumirea de amorf. Totuși, și la aceste desene papilare se pot distinge anumite particularități care au determinat divizarea lor în trei subtipuri: simian, danteliform și nedefinit.

2.2. Senzori utilizați în vederea preluării imaginilor brute ale amprentelor papilare

2.2.1. Tipuri de senzori utilizați

Pentru preluarea amprentelor digitale ale unei persoane s-au dezvoltat mai multe tipuri de senzori. Senzorii sunt de cele mai multe ori încorporați în diverse dispozitive periferice, cum ar fi tastatura, mouse-ul. În figura 2.13 sunt prezentați mai multe tipuri de senzori.

În lucrarea [MALTO1], se prezintă modul de operare a mai multor tipuri de senzori. În continuare se va prezenta un rezumat al acestei lucrări.

a. Senzori optici

Senzorii optici necesită o sursă de lumină care este refractată printr-o prismă. Degetul este plasat pe o plăcuță cu sticlă. Sursa luminează amprenta degetului, iar imaginea este capturată.

a.1) FTIR (Frustrated Total Internal Reflection)

Aceasta este cea mai veche și cea mai utilizată tehnică de achiziție în timp real în zilele noastre. Degetul atinge partea de sus a unei prisme din sticlă, iar în timp ce crestele intră în contact cu suprafața prisme, văile rămân la o anumită distanță, după cum se poate vedea și în figura 2.14. Partea stângă a prisme este iluminată prin intermediul unei lumini difuze (obținută prin intermediul un banc de led-uri). Lumina care intră în prismă este reflectată în cazul văilor, și absorbită în mod aleator de către creste. Lipsa reflecției permite determinarea creștelor (care apar mai închise la culoare în imaginea preluată), precum și a văilor, care apar deschise la culoare. Razele de lumină ies prin partea dreaptă a prisme și sunt concentrate prin

intermediul unei lentile într-un senzor de imagine CCD și CMOS. Deoarece aceste dispozitive necesită prezența unei suprafețe 3D, rezultă faptul că nu pot fi utilizate pentru o fotografie sau o imagine imprimată a unei amprente.

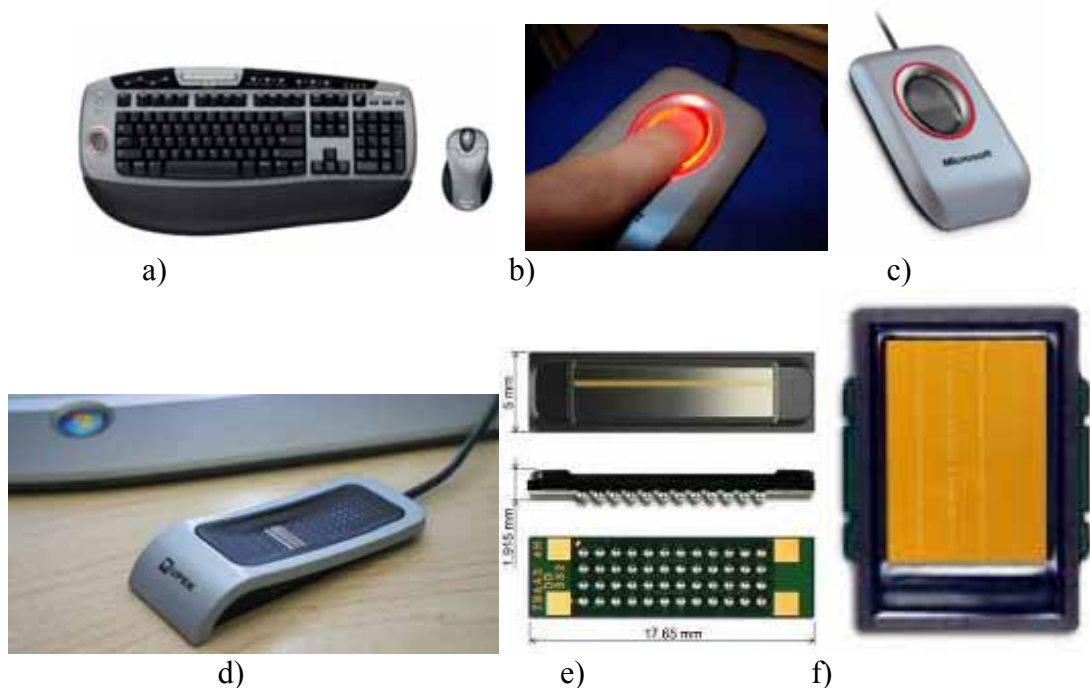


Figura 2.13. Senzori pentru preluarea amprente digitale. a)-c) dispozitive Microsoft; d) senzor Upek; e) senzor de tip sweep; f) senzor capacitiv. Sursa: Internet

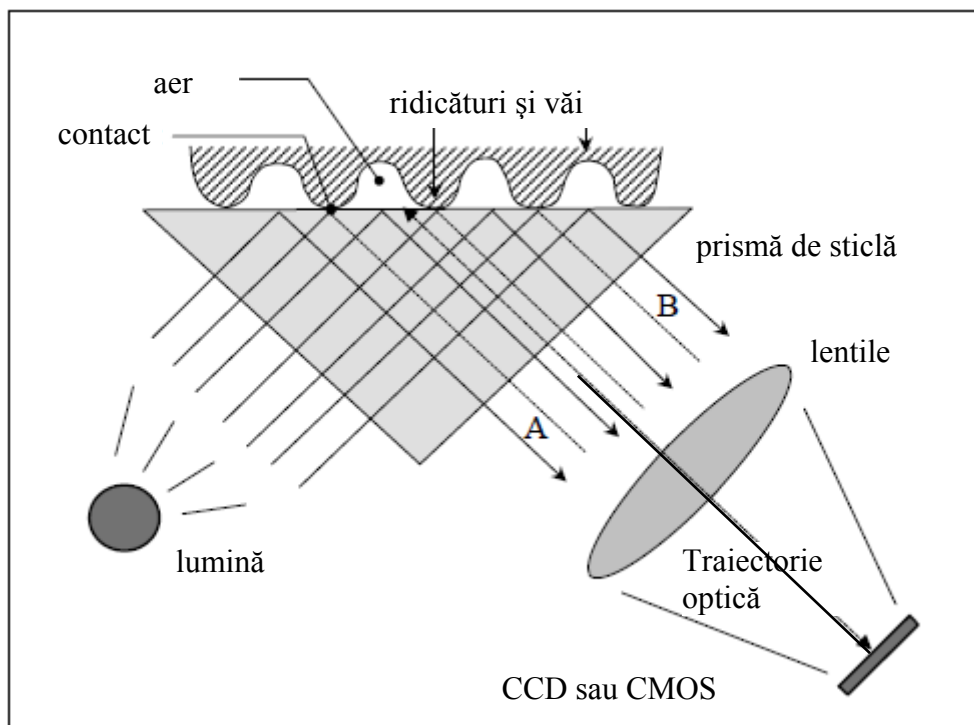


Figura 2.14. Senzori optici de tipul FTIR ([MALTO1])

a.2) FTIR – cu o prismă de tip foaie

Folosind o prismă de tip foaie, făcută dintr-un anumit număr de “bucăți de prismă” adiacente, în locul unei singure prisme mai mari, se poate ajunge la o reducere, într-o oarecare măsură, a dimensiunilor ansamblului mecanic utilizat pentru captarea imaginii amprente. De fapt, chiar dacă suprafața optică rămâne aceeași, prisma foaie va rămâne aproape plată. Totuși, calitatea imaginii achiziționate cu acest tip de prismă este în general mai slabă decât tehnicile FTIR tradiționale. Schema de principiu a acestui senzor este prezentată în figura 2.15.

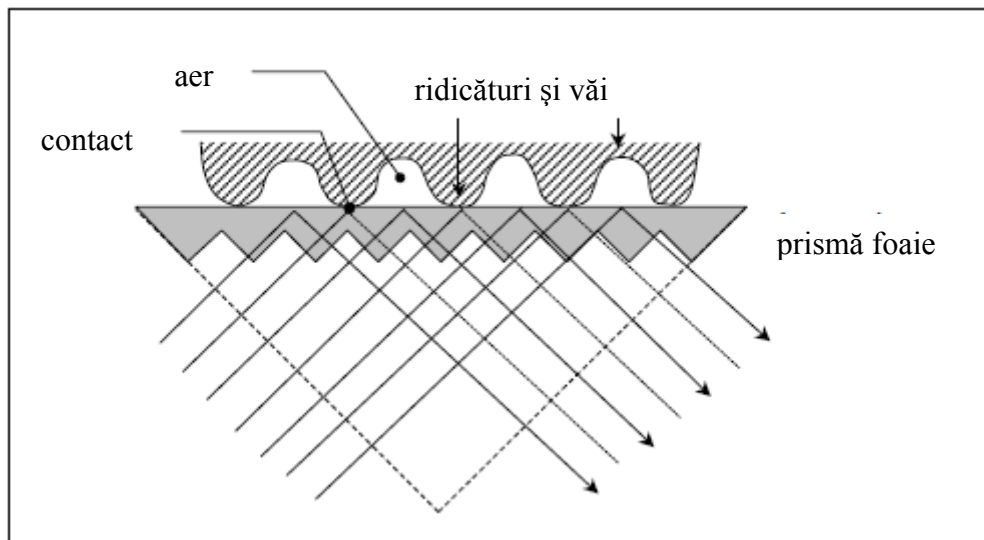


Figura 2.15. Senzori optici de tipul FTIR – cu prismă de tip foaie ([MALTO1])

a.3) Fibre optice

O reducere semnificativă a dimensiunilor poate fi obținută prin substituirea prismelor și lentilelor cu un suport de fibră optică. Degetul este în contact direct cu partea superioară a suprafeței dispozitivului; pe partea cealaltă, un senzor CCD sau un CMOS, foarte aproape cuplat cu suprafața, recepționează lumina reziduală a degetului transmisă prin intermediul fibrelor optice (figura 2.16). În comparație cu dispozitivele FTIR, în acest caz CCD-ul sau CMOS-ul este în contact direct cu suprafața de captare a imaginii (fără a fi nevoie de lentile intermediare), și în acest fel dimensiunea sa trebuie să acopere întreaga suprafață senzitivă. Acest lucru poate duce la un cost mare de producere a senzorilor de suprafețe mari.

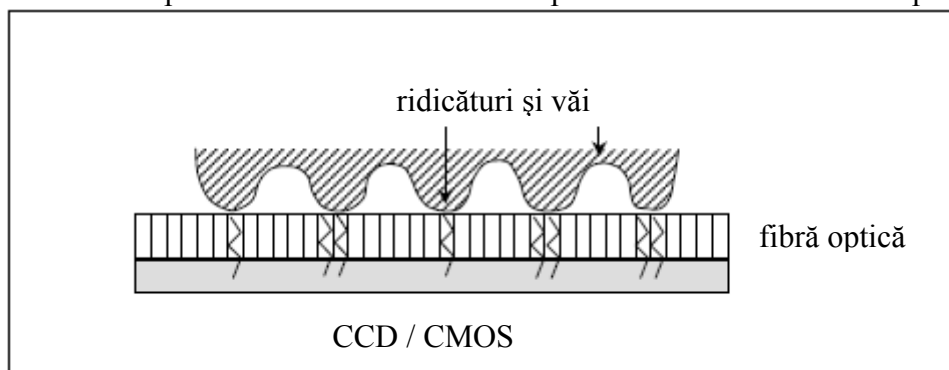


Figura 2.16. Senzori optici cu fibre optice ([MALTO1])

a.4) Opto-electronici

Aceste dispozitive sunt compuse din două straturi principale. Primul strat conține un polimer care, atunci când este polarizat cu un voltaj corespunzător, emite lumină care depinde de potențialul aplicat pe o parte. Cum creștele papilare ating polimerul iar văile nu, potențialul nu este același de-a lungul suprafeței atunci când este plasat un deget, iar cantitatea de lumină variază, în acest fel permițându-se generarea unei reprezentări luminoase a modelului amprente. Al doilea strat, cuplat strict cu primul, este alcătuit dintr-un șir de fotodiode (încorporate în sticlă), care are rolul de a recepta lumina emisă de către polimer și transformarea acesteia într-o imagine digitală. Deși micșorarea dispozitivului este considerabilă, totuși senzorii comerciali nu ajung la calitatea imaginilor obținută cu ajutorul dispozitivelor FTIR. În figura 2.28 este prezentată schema de principiu a funcționării acestor tipuri de senzori.

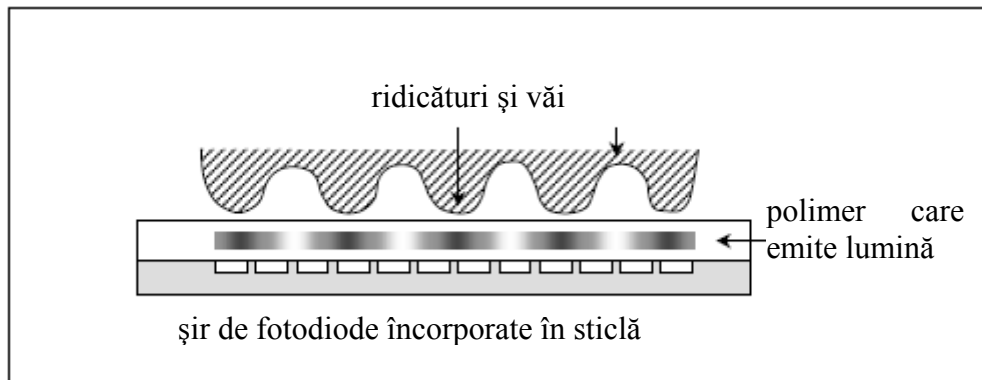


Figura 2.17. *Senzori opto-electronici ([MALTO1])*

a.5) Citire directă

Un dispozitiv de citire directă utilizează o cameră foto de înaltă calitate care poate focaliza direct vârful degetului. Degetul nu este în contact cu nici o suprafață, dar scannerul este echipat cu un suport mecanic care ajută utilizatorul în a prezenta degetul la o distanță uniformă. Un astfel de dispozitiv poate rezolva diverse probleme, cum ar fi curățarea periodică a senzorului și este perceput ca fiind mult mai igienic, dar obținerea imaginilor bine focalizate și cu un contrast mare este foarte dificilă.

b. Senzori silicon

Acești senzori pot fi:

- capacitivi (figura 2.18): nu mai este necesar dispozitivul optic, imaginea amprente se obține măsurând tensiunea creată între piele și placa din policarbonat a cititorului. Senzorii capacitivi trebuie să aibă o suprafață similară cu cea a degetului. Ei sunt susceptibili la zgomot, inclusiv zgomotul de 50 Hz de la rețeaua utilizatorului, precum și zgomotul intern al senzorului îi afectează. Descărcarea electrostatică, sarea de la transpirație sau degetele uscate pot perturba captura imaginii de la senzor.

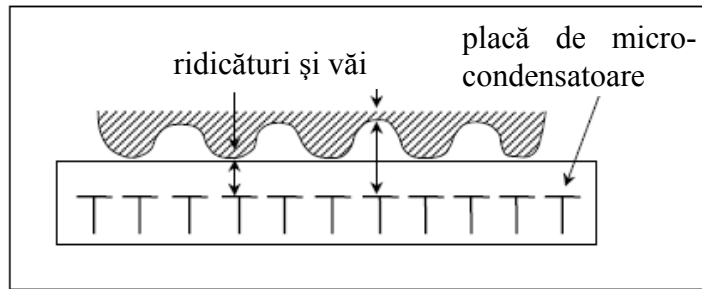


Figura 2.18. *Senzori capacitivi ([MALTOI])*

- termali - acești senzori sunt făcuți dintr-un material piroelectric care generează curent pe baza diferențelor de temperatură. Crestele amprentelor, fiind în contact cu suprafața sensorului, produc o temperatură diferită de locul în care se găsesc văile, care sunt mai departe de suprafața sensorului. Senzorii sunt menținuți la o temperatură înaltă prin încălzirea electrică a lor, pentru a se putea ajunge la o diferență de temperatură între sensor și deget. Diferența de temperatură produce o imagine atunci când degetul atinge sensorul, dar această imagine dispare rapid deoarece echilibrul termic este atins rapid.
- câmp electric – în acest caz, sensorul constă dintr-un inel care generează un semnal sinusoidal și o matrice de antene active care recepționează un semnal de amplitudine foarte mică transmis de către inel și modulată de structura dermei. Imaginea amprentei, care reprezintă răspunsul analogic al fiecărui element din sensor, este amplificată, integrată și digitizată.
- piezoelectric – senzorii sensibili la apăsare au fost creați să producă un semnal electric atunci când o presiune mecanică este aplicată pe ei. Suprafața sensorului este realizată dintr-un material dielectric neconductor care, la întâlnirea presiunii de la deget, generează o mică cantitate de curent (acest efect este denumit efect piezoelectric). Puterea curentului generat depinde de presiunea aplicată de deget pe suprafața sensorului. Din păcate, aceste materiale nu sunt suficient de sensibile pentru a detecta diferența între creste și văi.

c. Senzori pe bază de ultrasunete (Ultrasound Sensors)

Acești senzori sunt foarte utili, deoarece nu mai trebuie curățate plăcile de murdăria ce poate afecta acuratețea în identificare. Achiziția imaginii amprentei folosind această metodă poate fi văzută ca un fel de ecografie a degetelor. Unele experimente susțin chiar că acest sistem poate obține amprentele unui chirurg care poartă mănuși. Senzorii pe bază de ultrasunete sunt prezentați în figura 2.19.

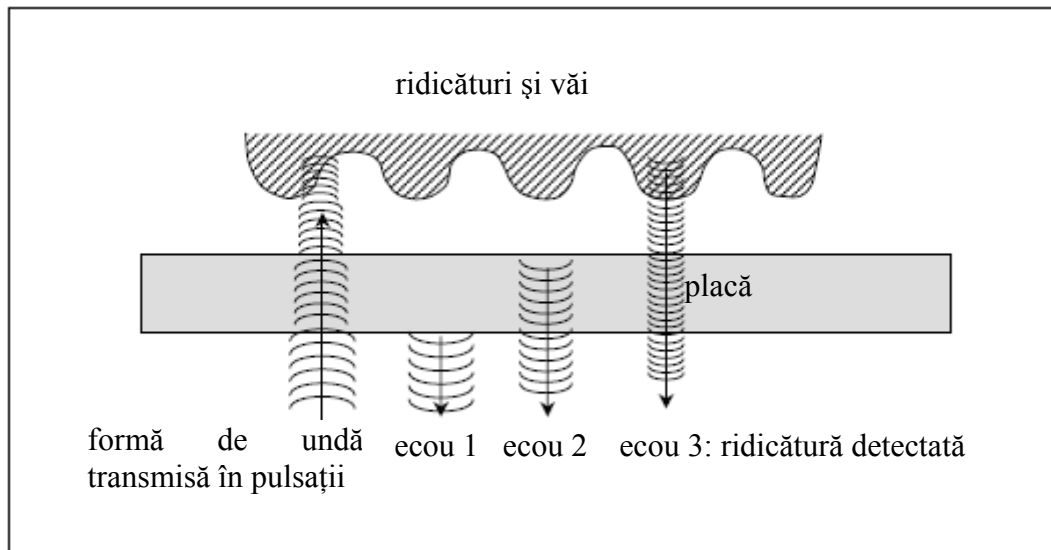


Figura 2.19. *Senzori cu ultrasunete ([MALTO1])*

d. Comparație între senzori de tipul cu alunecare (sweep) și cei cu atingere (touch)

Cele mai multe tipuri de senzori prezenți astăzi pe piață folosesc metoda cu atingere (*touch*): degetul este pus pe scanner, fără a fi nevoie de a mișca degetul. Cel mai mare avantaj al acestei metode este simplitatea sa de utilizare: are nevoie de o perioadă foarte scurtă de instruire a personalului pentru folosirea ei. În afară de aceasta, acest tip de senzori prezintă și unele dezavantaje, cum ar fi: murdărirea senzorului, ceea ce duce la necesitatea curățirii sale; o imagine mai mare sau mai mică a ampretei poate să rămână pe senzor după ridicarea degetului; rotația degetului poate fi o problemă în recunoașterea persoanei, unele sisteme permițând o rotație maximă de $\pm 20^\circ$.

În cazul senzorilor cu alunecare, aceste lucruri nu se întâmplă. Utilizatorul trebuie să treacă degetul peste senzor, trăgând încet mâna înapoi.

2.1.4.2. Importanța senzorilor pentru toate echipamentele și etapele următoare de achiziție și de prelucrare

Tehnologia de recunoaștere a ampretei se bazează pe analiza imaginii generate de un senzor, care conține puncte caracteristice alcătuite din terminațiile și din bifurcațiile de pe deget. Aceste puncte caracteristice, extrase din imaginile ampretei sunt extrem de dese, ceea ce explică de ce ampreta este cel mai des utilizată pentru identificarea umană. În fiecare imagine există aproximativ 70 de puncte măsurabile, unice pentru fiecare amprentă, iar fiecare punct are 7 caracteristici unice. Este posibil ca dispozitivele optice de recunoaștere a ampretei să fie păcălite de o amprentă latentă, reducând astfel siguranța întregului sistem. Pentru limitarea consecințelor acestui aspect au fost introduse imaginile tridimensionale. Ampretele latente pot fi furate, dar nu un model tridimensional al ampretei; pentru acest lucru ar trebui ca subiectul să coopereze sau să fie forțat să coopereze. Deci putem identifica avantajele majore pe care le au senzorii în prelucrarea și analiza amprentelor digitale și anume:

- Imaginea preluată de către senzori poate fi prelucrată pe calculator. Există echipamente de preluare a imaginilor care conțin software specializat și metode de procesare a amprentelor digitale, dintre care putem aminti: modificarea contrastului, inversare a tonurilor de gri, colorarea artificială, realizarea de măsurători, etc.

- Calitatea imaginii: îmbunătățirea unei imagini într-un anumit sens predefinit; reconstituirea sau refacerea unei imagini degradate, prin utilizarea unor informații despre fenomenul de degradare; principalele surse de zgomot sunt: achiziția și transmisia imaginilor (camera CCD: zgomot influențat de nivelurile de iluminare și temperatura senzorului; transmisia imaginilor: interferențele din canalele de transmisie);
- Grad înalt de siguranță a sistemelor bazate pe senzori cu ultrasunete. Cum poate fi detectată amprenta papilară a unui deget tăiat? Folosirea unui deget tăiat indică o infracțiune gravă, nu este același lucru cu furtul unui cod PIN sau a unei parole. Un traductor care detectează presiunea sângelui poate indica dacă degetul aparține unei persoane în viață. Poate fi folosită și detectarea conductivității electrice a pielii. Poate fi folosită tehnica de deplasare a degetului pentru a detecta dacă persoana este forțată, deoarece mișcarea degetului nu mai este aceeași în condiții de stres.
- Economia de timp reprezintă un alt avantaj esențial, mai ales în cazul sistemelor CCD (Charge-Coupled Device) care permit afișarea imaginii imediat după expunere;
- Ecologic (neinvaziv pentru mediu). Utilizarea senzorilor optici, capacitivi sau cu ultrasunete nu necesită substanțe chimice cum erau folosite la dezvoltarea filmelor.

2.3. Stadiul actual al cercetării referitoare la recunoașterea persoanelor după amprenta papilară

În acest capitol se vor prezenta cronologic lucrările reprezentative din domeniul recunoașterii amprentelor digitale. În același timp se va face o comparație a acestor lucrări, cu evidențierea îmbunătățirilor aduse pe parcursul evoluției acestei metode de identificare sau verificare a persoanelor.

2.3.1. Începuturile studierii amprentelor pentru recunoașterea persoanelor

În anul 1892, Galton elaborează un sistem de clasificare a amprentelor digitale [GALTON1]. Detaliile privind amprentele papilare sunt valabile și astăzi. O amprentă este compusă din trasee întinse, numite creste papilare și din trasee mai luminoase numite intercreste sau văi sau șanțuri papilare. La nivel local alte puncte caracteristice pot fi găsite pe amprente și se referă la discontinuitățile care pot apărea în crestele papilare. Unele se pot termina brusc formând o terminație, sau se pot ramifica în două creste formând o bifurcație. Alte elemente caracteristice ce mai pot apărea într-o amprentă digitală sunt: porii, punctele singulare „delta”, punctele singulare „buclă”, insulele, spiralele (figura 2.20).



Figura 2.20. Punctele caracteristice pentru o amprentă

Începând cu anul 1896, Edward Henry pune la punct un sistem de clasificare a amprentelor digitale [PACO1]. E. Henry, inspector general al Poliției din Bengal (parte a Indiei Britanice), pune la punct un sistem de clasificare a amprentelor digitale. E. Henry s-a consultat cu Galton în legătură cu utilizarea amprentelor digitale ca metodă de identificare a infractorilor. Odată cu implementarea sistemului de amprentare, unul dintre angajații săi, Azizul Haque, a elaborat o metodă de clasificare și de stocare a informațiilor care să faciliteze și să eficientizeze căutarea. Sir Henry a înființat ulterior, la Londra, primele dosare cu amprente digitale. Sistemul de clasificare propus de Henry, așa cum a devenit cunoscut, este precursorul sistemului de clasificare folosit de FBI și de alte organe de cercetare penală care efectuează verificări. El a clasificat amprente digitale în opt categorii (vezi figura 2.21).



Figura 2.21. Sistemul de clasificare Henry

Comisia de Servicii Publice a statului New York a introdus practica amprentării solicitanților de locuri de muncă în administrația publică, pentru a-i împiedica pe aceștia să trimită alte persoane, mai bine pregătite, care să susțină testele în locul lor. Această practică a fost adoptată de sistemul penitenciar din statul New York, în care amprente digitale erau

folosite pentru identificarea infractorilor încă din 1903. Adoptarea sistemului a fost impulsionată de înființarea, în 1904, de birouri de amprentare în penitenciarul din Leavenworth, Kansas și în cadrul poliției din Saint Louis, Missouri. În timpul primului sfert al secolului XX, din ce în ce mai multe forțe locale de poliție au înființat sisteme de amprentare. Printr-o lege votată de Congres la 1 iulie 1921, a fost înființată Divizia de Identificare a FBI.

2.3.2. Începuturile identificării amprentelor prin procese automate

Începând cu anul 1960, identificarea amprentei devine un proces semiautomat. În continuare, din 1969, FBI demarează eforturile de creare a unui sistem care să automatizeze procesul de identificare a amprentelor digitale, devenit între timp foarte laborios și necesitând multe ore de muncă/angajat. FBI a contactat Institutul Național pentru Standarde și Tehnologii (NIST), în vederea studierii procesului de identificare automată a impresiunilor digitale. NIST a identificat două probleme principale: (1) scanarea fișelor de amprentare și identificarea detaliilor și (2) compararea și potrivirea listelor cu detalii fizice.

FBI finanțează crearea senzorilor și tehnologiei de extragere a detaliilor fizice, începând cu anul 1975. FBI a finanțat dezvoltarea scannerelor și a tehnologiei de extragere a detaliilor fizice, ceea ce a dus la apariția prototipului unui aparat de citire. La momentul respectiv erau înregistrate doar detaliile fizice, datorită costului ridicat al stocării digitale. Aceste cititoare primitive utilizau pentru prelevarea caracteristicilor amprentelor digitale tehnologii bazate pe condensatori. De-a lungul deceniilor următoare, NIST s-a axat pe cercetarea și dezvoltarea metodelor de transpunere în format digital a amprentelor, a efectelor compresiei asupra calității imaginii, clasificării, extragerii detaliilor și comparării. Activitatea de la NIST a dus la dezvoltarea algoritmului M40, primul algoritm operațional de comparare utilizat de FBI. Folosit pentru a reduce volumul căutărilor efectuate de oameni, acest algoritm a produs un set de imagini mult mai redus decât cele predate până atunci tehnicienilor specializați în evaluarea acestora.

Din anul 1981 sunt dezvoltate sisteme automate pentru identificarea amprentelor digitale – AFIS (Automated Fingerprint Identification System), iar în 1986 este publicat standardul privind schimbul de date cuprinzând detalii ale amprentelor digitale. Biroul Național de Standarde al SUA (actualul NIST) a publicat un standard pentru schimbul de date referitoare la detaliile amprentelor digitale. Aceasta a fost prima versiune a standardelor actuale de schimb de date privind impresiunile digitale, utilizate de forțele de poliție din întreaga lume.

În cadrul guvernului american este înființat Consorțiul Biometric, în anul 1992. Agenția Națională de Securitate (NSA) a inițiat formarea Consorțiului Biometric și a prezidat prima sa reuniune, în octombrie 1992. Inițial, consorțiul era compus doar din agenții guvernamentale; firmele private și mediul academic aveau doar statut de observatori. În curând, consorțiul și-a extins numărul de membri prin includerea acestor comunități și a creat numeroase grupuri de lucru pentru a iniția și/sau a-și extinde eforturile în activitățile de testare, elaborare de standarde, interoperabilitate și cooperare guvernamentală. Odată cu explozia tehnologiilor biometrice la începutul anilor 2000, activitățile acestor grupuri de lucru au fost integrate altor organizații, pentru a le extinde și accelera impactul. Consorțiul a rămas activ în calitate de element de legătură între guvern, industria de profil și mediul științific.

2.3.3. *Prezentarea a două lucrări referitoare la extragerea trăsăturilor din imaginile amprentelor digitale, publicate în anii 1995 și 1998*

2.3.3.1. *Articolul publicat în 1995, de Nalini K. Ratha ș.a.*

În anul 1995, apare o lucrare foarte importantă în acest domeniu, intitulată Adaptive flow orientation based feature extraction în fingerprint images, fiind redactată de Nalini K. Ratha, Shaoyun Chen, Anil K. Jain - [NALINI1].

În această lucrare se prezintă o metodă sigură pentru extragerea caracteristicilor structurale dintr-o imagine a unei amprente. Considerând imaginile amprentelor ca o imagine texturată, se poate calcula un flux de câmp al orientării. Restul pașilor din algoritm folosesc acest flux de câmp pentru a dezvolta filtre adaptive pentru imaginea de intrare. Pentru a localiza cât mai precis creștăturile, se folosește un algoritm de segmentare a creștelor bazat pe proiecția formei de undă. Este obținută astfel imaginea schelet a creștelor, care este apoi netezită folosind operatori morfologici pentru a detecta caracteristicile. Un număr mare de caracteristici false din setul determinat sunt șterse într-o etapă de postprocesare. Performanța algoritmului propus a fost evaluată prin calculul unui „indice al caracteristicii bune” (GI) care compară rezultatele extracției automate cu cele ale extracției manuale realizată de un specialist. Semnificația valorilor GI observate este determinată de compararea indexului pentru un set de amprente cu valorile GI obținute dintr-o distribuție de bază. Caracteristicile detectate se observă că sunt sigure și precise.

2.3.3.1.1. Extragerea caracteristicilor din imaginile amprentelor bazată pe orientarea fluxului adaptiv

În articolul [NALINI1], autorii prezintă, printre altele, o nouă metodă de extragere a caracteristicilor din imaginile amprentelor digitale bazată pe orientarea fluxului adaptiv a creștelor. Privind imaginile amprentelor ca o imagine texturată, a fost calculat un câmp al fluxului de orientare. Restul etapelor algoritmului utilizează câmpul fluxului pentru a proiecta filtre adaptive imaginilor rezultate. Pentru a localiza exact creștele, se utilizează o segmentare algoritmică a undei bazată pe proiecția creștelor. Imaginea schelet a creștei este obținută și netezită folosind operatori morfologici de detectare a caracteristicilor. Un număr mare de caracteristici false din setul de detalii exacte detectate este șters într-o etapă de postprocesare. Funcționalitatea algoritmului propus a fost evaluată prin calcularea unui index de pozitivitate care compară rezultatele extragerii automatizate cu adevărul extras manual. Semnificația valorilor indexului pozitiv observat este determinată prin compararea indexului pentru un set de amprente cu valorile obținute sub linia de referință de distribuție. Caracteristicile detectate sunt analizate pentru a fi fiabile și exacte.

Deci, contribuțiile principale ale acestei lucrări sunt:

- o nouă metodă de segmentare (bazată pe un algoritm de proiecție în formă de undă a creștelor);
- o îmbunătățire a imaginii subțiate (imaginea schelet a creștei este netezită folosind operatori morfologici de detectare a caracteristicilor. Un număr mare de caracteristici false din setul de detalii este șters în etapa de postprocesare);
- o evaluare cantitativă a performanțelor procesului de extragere (funcționalitatea algoritmului este evaluată prin intermediul unui indice de pozitivitate (GI – goodness index) care compară rezultatele extragerii automate a punctelor caracteristice cu numărul de puncte caracteristice calculate manual).

Crestăturile (muchiile) și văile dintr-o amprentă alternează, având o direcție locală constantă (vezi figura 2.22). O analiză mai în amănunt dezvăluie că, aceste crestături (sau văi) manifestă anomalii, cum ar fi bifurcații, crestături scurte. Agențiile de identificare a legii (FBI) au identificat optsprezece tipuri diferite de detalii ale amprentelor. Pentru o extragere și o potrivire automată a amprentelor, mulțimea detaliilor amprentelor se restrânge la două tipuri de detalii: crestături finale și crestături cu bifurcații. Acestea se pot observa în figura 2.23. Punctele mai complexe ale amprentelor pot fi explicate ca fiind o combinație între aceste două puncte de bază. De exemplu insula poate fi interpretată drept un cumul de două bifurcații, iar o “creasta scurtă” poate fi considerată drept o pereche de terminații de crestături, după cum arată și în figura 2.24. Într-o imagine de calitate a unei amprente sunt 70-80 de detalii, iar într-una mai puțin clară numărul de detalii este mult mai mic (aproximativ 20-30).

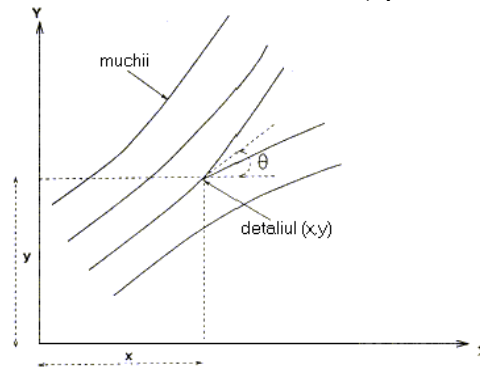


Figura 2.22. Alternanța muchiiilor (crestăturilor) și a văilor [NALINI1]

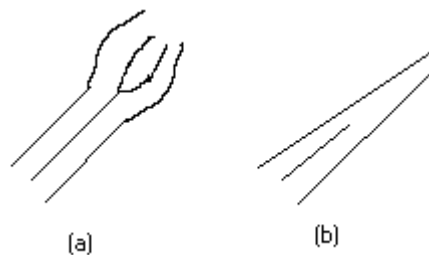


Figura 2.23. Caracteristici fundamentale a) crestături cu bifurcații b) crestături cu terminații [NALINI1]

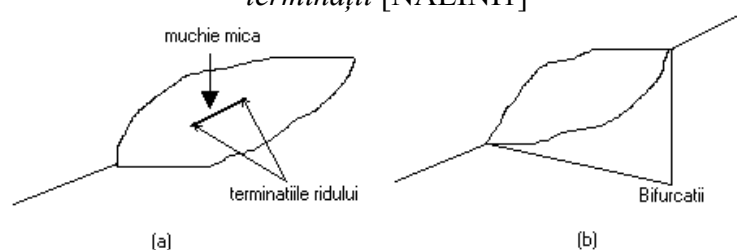


Figura 2.24. Caracteristici complexe, ca o combinație a caracteristicilor simple: a) creasta scurtă b) insula [NALINI1]

Sistemul obișnuit de identificare a amprentelor se folosește de crestăturile cu bifurcații și de crestăturile cu terminații. Din cauza dimensiunii mari a bazei de date cu amprente și a amprentelor cu zgomote întâlnite în practică, este foarte dificilă obținerea unei potriviri perfecte în toate cazurile. De aceea sistemele comerciale sunt prevăzute cu o listă de posibile potriviri, care sunt apoi verificate de un expert. Una dintre problemele cele mai importante care se pun se datorează prezenței zgomotului din timpul procesului de preluare a amprentelor. Metodele folosite pentru preluarea amprentelor digitale, implică aplicarea unui strat de cerneală pe deget și apoi apăsarea acestuia pe o foaie de hârtie. Acest procedeu creează următoarele neplăceri:

- i) zonele prea încărcate cu cerneală ale degetului determină apariția în imagine a unei porțiuni murdărite;
- ii) porțiunile libere dintre creștături sunt create prin zone în care cerneala nu a pătruns îndeajuns în piele;
- iii) pielea fiind elastică de la natură își poate schimba caracteristicile de poziție din amprentă, schimbările fiind determinate de presiunea exercitată asupra degetului.

Deși metodele fără cerneală sunt în prezent valabile în luarea amprentelor, aceste metode suferă din cauza schimbării poziției cauzată de elasticității pielii. Atitudinea mai puțin cooperantă a suspectilor și criminalilor duce de asemenea la pătarea parțială a amprentelor luate pe o coală de hârtie.

Lucrarea propune o metodă fiabilă pentru extragerea caracteristicilor din amprentele digitale. Etapa de potrivire folosește poziția și orientarea acestor caracteristici precum și numărul total al lor. Ca și rezultat, exactitatea extracției caracteristicilor este crucială pentru faza de potrivire a amprentelor. Câmpul de orientare joacă un rol important pentru a proiecta filtre adaptive. Se prezintă o nouă metodă de segmentare a creștelor bazată pe proiecția imaginii în direcția câmpului de orientare. Calitatea caracteristicilor extrase este evaluată cantitativ. Caracteristicile structurale care sunt extrase de obicei din imaginea amprentelor sunt bifurcațiile și terminațiile creștelor. Fiecare dintre caracteristici are trei componente (x, y, θ), unde x este abcisa punctului caracteristic, y este ordonata, iar θ este direcția locală a creștei (figura 2.22).

Principalele etape care trebuie parcurse pentru prelucrarea amprentelor digitală sunt:

- preprocesarea;
- extragerea caracteristicilor;
- potrivirea amprentelor;
- compresia imaginilor amprentelor;
- realizarea unor arhitecturi hardware pentru extragerea și potrivirea caracteristicilor în timp real.

O scurtă istorie a eforturilor automatizării în domeniul recunoașterii amprentelor poate fi găsită în [HENRYCLEE]. Lucrările realizate de Sherlock et al. [SHERL3], Mehtre [MEHTRE1], Coetzee și Botha [COETBOTH1], Xiao și Raafat [XIAORAA1], O’Gorman și Nickerson [OGORNICK1] sunt relevante pentru faza de extragere a punctelor caracteristice ce sunt folosite în lucrare.

Sherlock et al. [SHERL3] îmbunătățește imaginea amprentelor printr-un filtru direcțional Fourier. Direcția filtrului este determinată de orientarea creștelor locale. O fereastră de 32×32 este folosită pentru a obține proiecția șablonului pe 16 direcții. Proiecția cu maximul de variație reprezintă direcția creștei pentru fereastră. Mehtre [MEHTRE1] calculează imaginea direcțională, reprezentând direcția creștei locale, într-un bloc de dimensiune 16×16 pixeli. În acest scop, sunt calculate variații ale intensității nivelului de gri de-a lungul a opt direcții diferite. Direcția cu cea mai mică variație este direcția dorită a creștei.

Coetzee și Botha [COETBOTH1] obțin punctele caracteristice folosind operatori (de detectare margini) de tip Marr – Hildreth. Harta marginilor este folosită pentru binarizarea adaptivă a amprentelor. Imaginea direcțională este calculată ca și în [MEHTRE1].

Xiao și Raafat [XIAORAA1] presupun că imaginea schelet a fost deja obținută din imaginile amprentelor. Aceștia descriu metode de identificare a detaliilor false și le elimină folosind definiția structurală a detaliului. Pentru fiecare detaliu, sunt efectuate determinări statistice ale lățimii creștei și ale atributelor acesteia, cum ar fi lungimea, direcția creștei sau a punctelor caracteristice, pentru a înlătura creștele false. Procesul de îmbunătățire comportă două etape: îngustarea creștei funcție de direcție, urmată de extinderea creștei funcție de direcție.

Tema principală a lucrării lui O’Gorman și Nickerson [OGORMNICK] este de a determina filtre pentru îmbunătățirea imaginii amprentelor. Coeficienții $k \times k$ ai măștii sunt generați pe baza orientării locale a crestei. Doar trei direcții de orientare sunt folosite. Patru parametrii model sunt folosiți pentru a descrie amprenta, și anume:

- lățimea crestei (L_{\max}, L_{\min});
- lățimea văii ($\bar{L}_{\max}, \bar{L}_{\min}$);
- raza minimă a curburii.

Imaginea îmbunătățită este binarizată și postprocesată.

2.3.3.1.2. Prezentarea algoritmului

Trăsăturile principale ale metodei propuse de autori pentru extragerea caracteristicilor poate fi descrisă astfel. Se poate privi imaginea amprentei ca un flux șablon cu o structură bine definită. Este calculat un câmp de orientare pentru acest flux [ARRAO]. Pentru a determina exact câmpul de orientare local, imaginea de intrare este divizată în blocuri egale de 16×16 pixeli. Fiecare bloc este procesat independent. Nivelul de gri pentru proiecție de-a lungul liniei de scanare perpendiculară pe orientarea locală a câmpului furnizează o variație maximă. Se localizează crestele utilizând vârfulurile și variația lor în această proiecție. Crestele sunt subțiate, iar imaginea schelet care rezultă este îmbunătățită folosind un filtru morfologic adaptiv. Etapa de extragere a punctelor caracteristice aplică o serie de măști asupra imaginii subțiate și îmbunătățite. Etapa de postprocesare șterge punctele caracteristice cu zgomote. Procesul poate fi împărțit în trei operații principale:

1. preprocesarea și segmentarea;
2. subțierea și extragerea punctelor caracteristice;
3. postprocesare.

1. Preprocesarea și segmentarea

Scopul etapelor de preprocesare și segmentare este de a obține o imagine binară segmentată a creștelor amprentelor pornind de la imaginea de intrare formată din tonuri de gri, unde creasta are valoarea 1 (alb), iar restul are valoarea 0. Acest lucru poate fi realizat prin aplicarea următorilor pași:

- calcularea câmpului de orientare;
- separarea prim-planului de fundal;
- segmentarea crestei;
- netezirea direcțională a creștelor.

a) Calcularea câmpului de orientare

Imaginea amprentelor poate fi considerată drept un șablon cu textură orientată. Conform taxonomiei descrisă în [ARRAO1], amprentele pot fi clasificate ca având o structură slab ordonată. Câmpul de orientare descris în [ARRAO1] este folosit pentru a calcula direcția optimă dominantă a crestei în fiecare din ferestrele de dimensiune 16×16 . Pașii următori se vor ocupa de calcularea câmpului de orientare pentru fiecare fereastră.

1. calcularea pantei blocului netezit. Fie $G_x(i,j)$ mărimea pantei în direcțiile x și y , respectiv la pixelii (i, j) obținuți folosind măști Sobel 3×3 .
2. obținerea direcției dominante într-un bloc 16×16 folosind următoarea ecuație:

$$\theta_d = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{16} 2G_x(i,j)G_y(i,j)}{\sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{16} (G_x(i,j)^2 - G_y(i,j)^2)} \right), \quad G_x \neq 0 \quad G_y \neq 0 \quad (2.1)$$

Observație: dacă G_x sau G_y este zero atunci direcția dominantă nu prezintă importanță (0^0 sau 90^0). Unghiul θ_d este cuantificat în 16 direcții. Orientarea câmpului servește la selectarea parametrilor filtrelor adaptive din etapele ulterioare. Direcțiile creștelor au fost de asemenea folosite pentru determinarea șablonului categoriei de intrare a ampretei de intrare [KAWATOJO1] (figura 2.25).

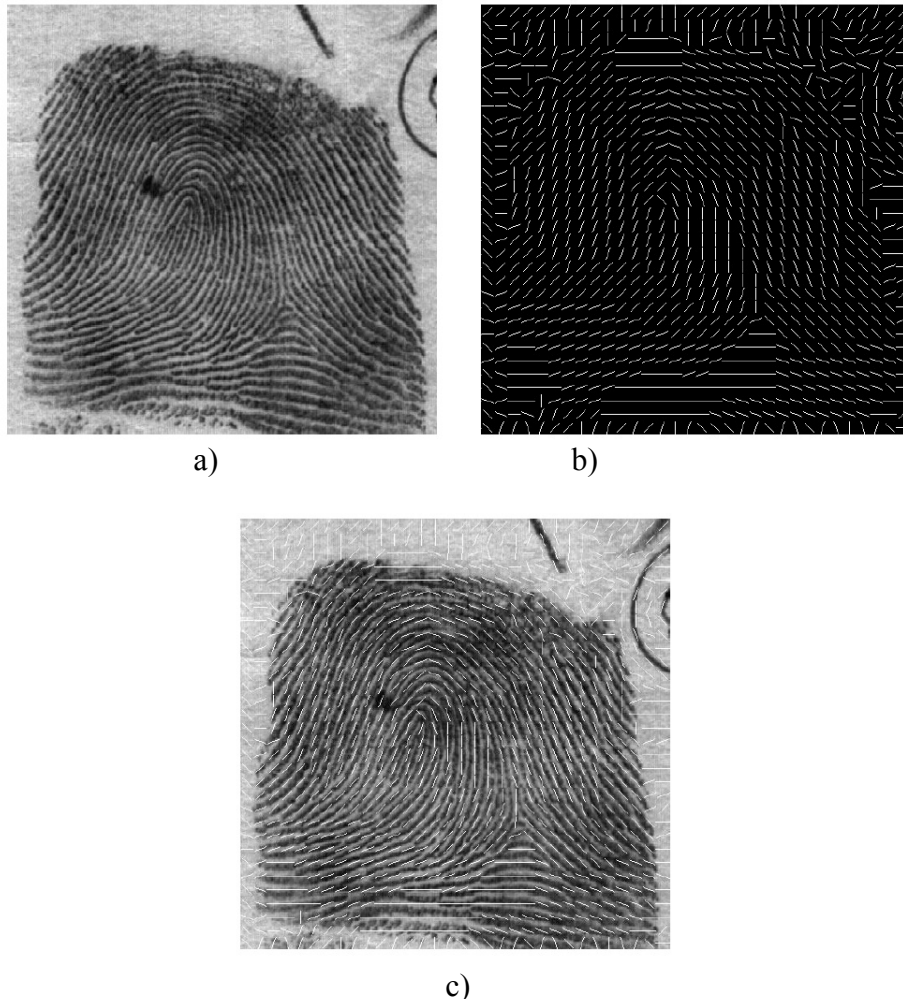


Figura 2.25. Calculul câmpului de orientare a) imaginea de intrare (512 x 512 pixeli); b) câmp de orientare (pentru fiecare fereastră 16 x 16); c) imaginea (b) suprapusă peste imaginea inițială (a) [NALINI1]

b) Segmentare prim plan-fundal

Imaginea unei amprente se constituie dintr-o regiune de interes (unde găsim punctele caracteristice), împreună cu o casetă dreptunghiulară de încadrare a ampretei. Trebuie să se decupeze imaginea ampretei de fundal. Se calculează variația nivelului de gri într-o direcție octogonală orientării câmpului din fiecare bloc. Presupunerea de bază este că regiunile imaginilor cu zgomot nu au dependență direcțională, în timp ce regiunile de interes (zonele amprentelor) prezintă o variație foarte mare în direcția octogonală a orientării șablonului și o variație foarte mică de-a lungul creștelor. Cu alte cuvinte, fundalul are o variație mică în toate

direcțiile. Variația poate fi folosită de asemenea pentru a determina calitatea imaginii amprentelor în funcție de imaginea de contrast a blocului (16 x 16 pixeli) luat în considerare. Valoarea calității câmpului pentru o fereastră este definită pentru a corespunde uneia dintre aceste patru valori : bună, medie, slabă și fundal (figura 2.26).

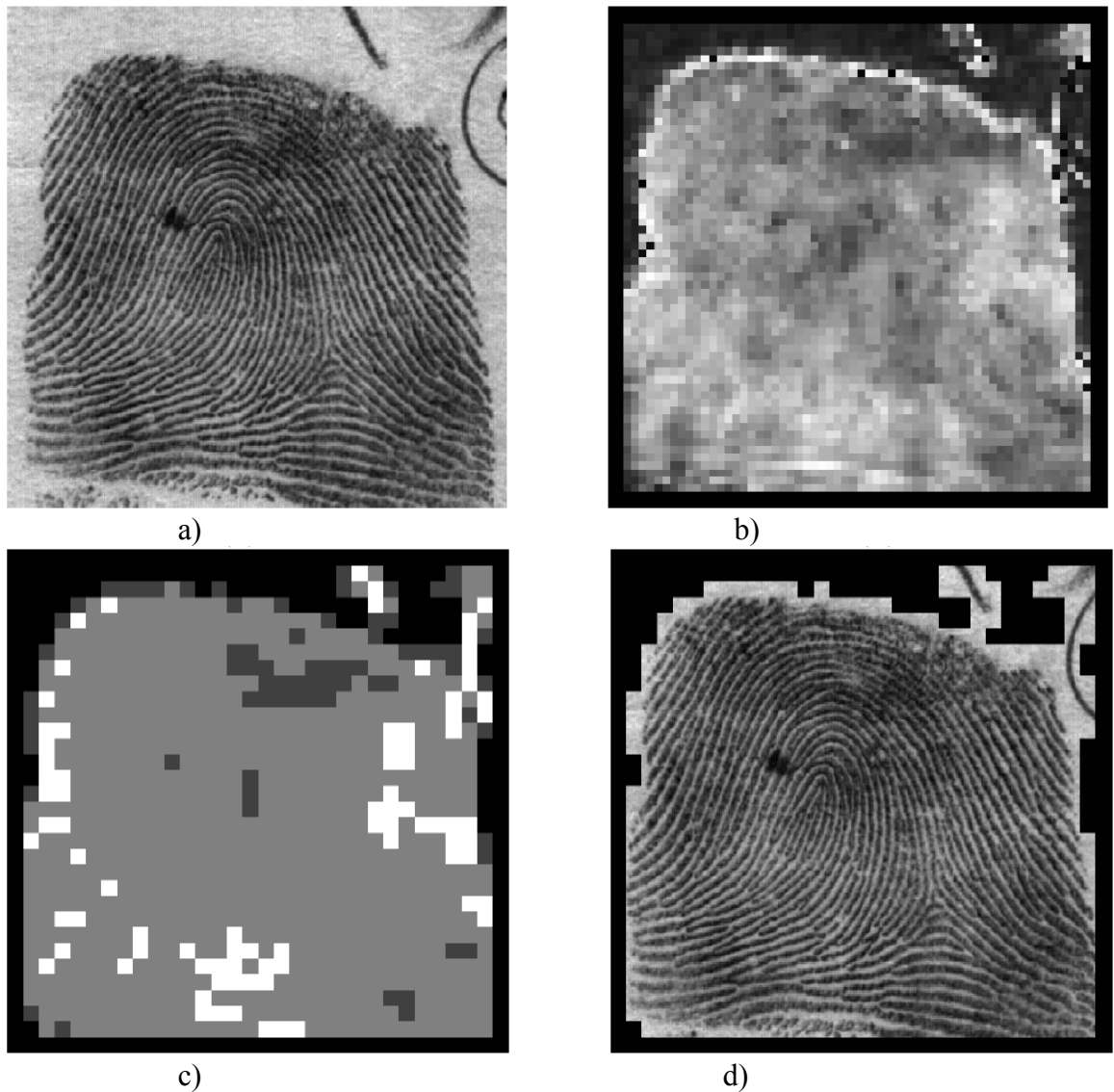


Figura 2.26. Segmentarea prim-plan / fundal a) imaginea inițială (512 x 512) b) câmpul de variație c) imaginea de calitate; d) imaginea segmentată [NALINII]

c) Segmentarea creștelor

După ce au fost identificate zonele de prim-plan și fundal, următorul pas este să se localizeze creștele (figura 2.26). A fost implementată o nouă tehnică pentru a localiza creștele, și anume: se consideră imaginea unei ferestre de 16 x 16 pixeli și proiecția ei în direcția ortogonală câmpului de orientare pentru fereastră. Centrul unei creste arată ca un vârf în cadrul proiecției. Forma de undă a proiecției facilitează detectarea pixelilor crestei. Doi pixeli vecini din fiecare parte a vârfului sunt de asemenea reținuți de-a lungul direcției perpendiculare câmpului de orientare. Pentru un model ideal al creștelor așa cum avem în figura 2.26 (a), ar trebui să se obțină o undă de proiecție așa cum este prezentată în figura 2.26 (b). Forma de undă pentru o fereastră 16 x 16 pixeli dintr-o imagine reală (figura 2.26 (c)) este

prezentată în figura 2.26 (d). Înainte de proiectarea imaginii, aceasta este netezită folosind o mască unidimensională de mediere pentru fiecare rând de-a lungul direcției ortogonale a câmpului de orientare al ferestrei.

Sherlock et al. [SHERL3] au folosit diferite proiecții pentru a determina orientarea crestei locale, în timp ce autorii prezentului articol [NALINI1] folosesc câmpul de orientare pentru a obține o singură proiecție. Metoda folosită în [NALINI1] pentru localizarea creștelor este aceea de utilizare a pragurilor adaptive ale imaginii. Pixelilor creștelor le este atribuită valoarea 1 (albă), iar pixelilor rămași valoarea 0 (negru) (figura 2.27).

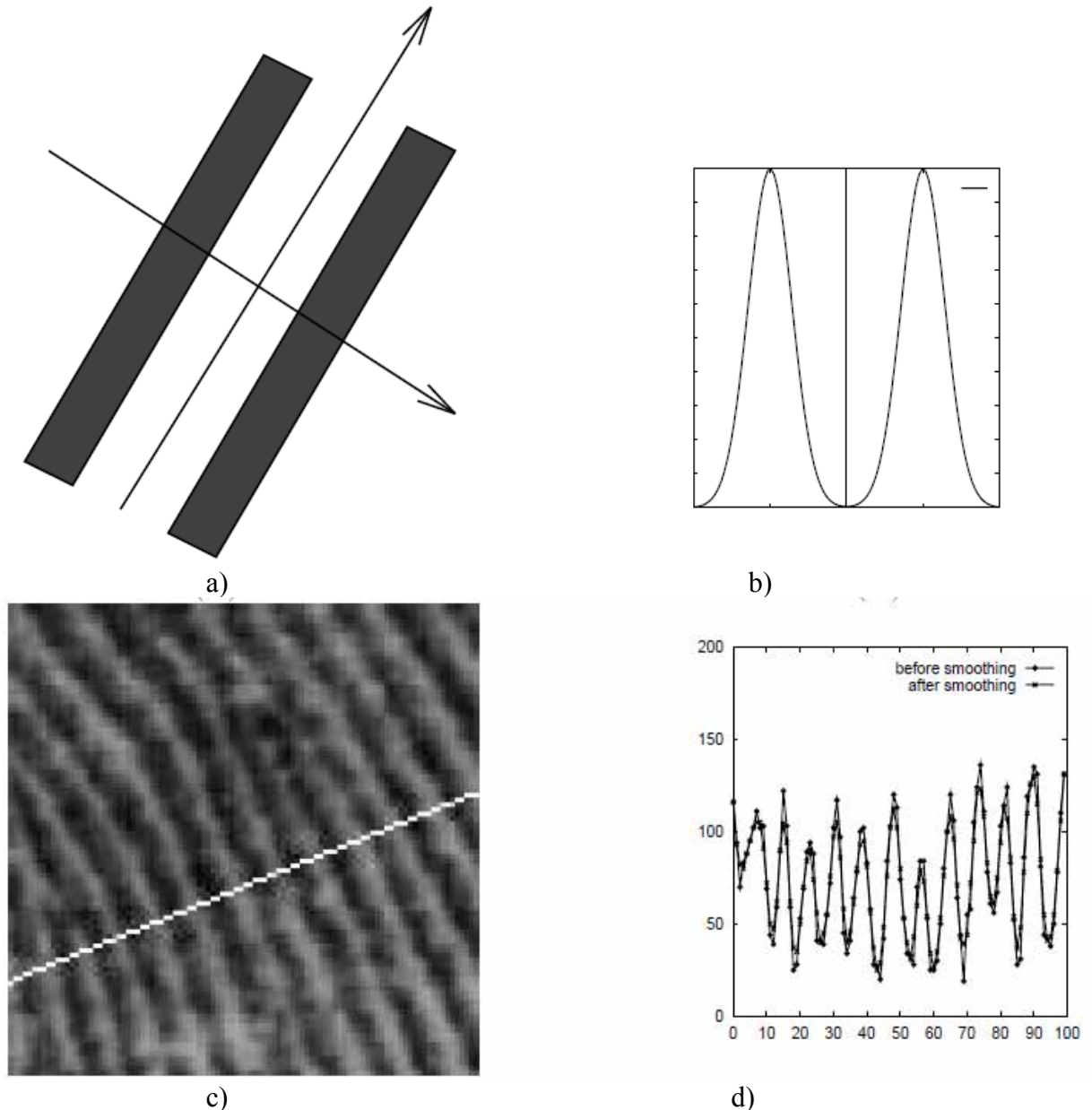


Figura 2.26. Segmentarea creștelor. a) model ideal pentru crește; b) proiecția de undă a creștelor de la punctul (a) c) o fereastră 16 x 16 dintr-o imagine amprentă. Pe desen este indicată axa ortogonală pe direcția creștelor d) proiecția de undă a creștelor de la punctul (c) [NALINI1]

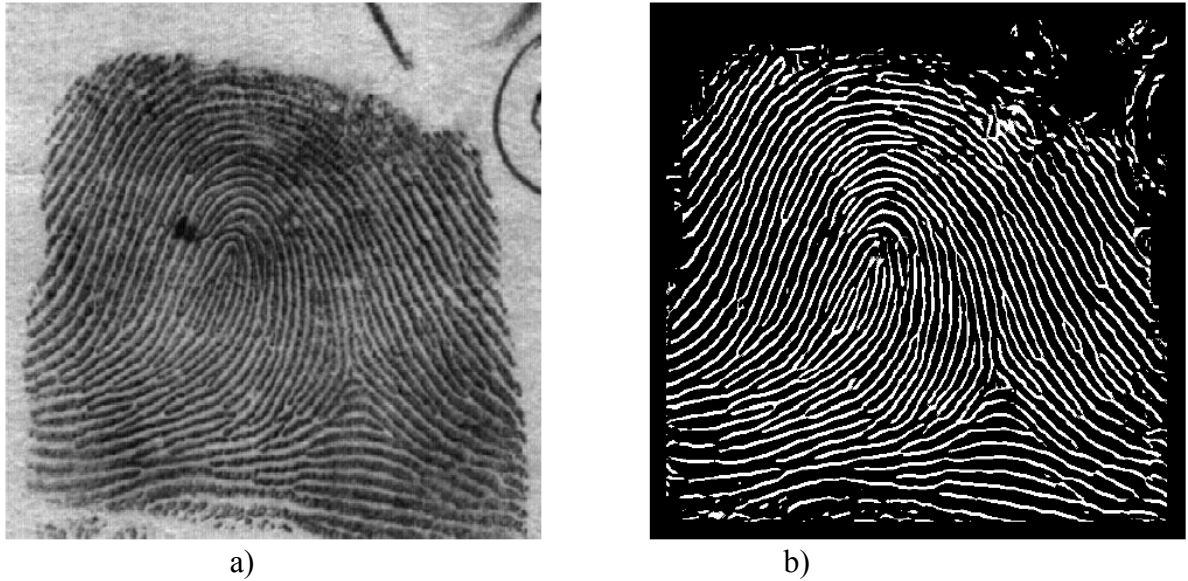


Figura 2.27. *Creste segmentate. a) imaginea inițială b) creste identificate [NALINII]*

d) Netezirea direcțională

Odată ce crestele au fost localizate, netezirea direcțională este aplicată pentru a netezi crestele. O mască 3×7 este plasată de-a lungul câmpului de orientare pentru fiecare fereastră. Măștile care conțin toate valoarea 1 ne ajută să obținem numărul valorilor 1 din zona măștii. Dacă numărul valorilor 1 este mai mare de 25 % din numărul total de pixeli ($3 \times 7 = 21$ în acest caz), atunci punctul crestei este reținut. Mărimea măștii a fost determinată în mod empiric.

2. Extragerea punctelor caracteristice (puncte ale detaliului)

Imaginea binară a crestei trebuie să fie procesată mai departe, înainte de a extrage caracteristicile detaliate. Primul pas este de a subția crestele astfel încât să aibă lățimea de un pixel. O metodă de scheletizare a fost descrisă în [TSAKAI1] și disponibilă în biblioteca HIPS. Din nefericire, anomaliile marginilor crestelor au un impact nefavorabil asupra scheletului, deoarece introduc multe bifurcații și terminații false. Prin urmare, scheletul trebuie netezit înainte de a fi extrase punctele caracteristice. Punctele caracteristice false sunt eliminate utilizând un filtru morfologic adaptiv. Filtrul folosit este un operator "deschis" cu un element structural în forma unei matrice, cu toate valorile 1 de dimensiune 3×3 . Elementul structural este rotit în direcția ortogonală câmpului de orientare din fereastră. Scheletul crestelor înainte de ștergerea și după îndepărtarea vârfurilor este prezentat în figura 2.28 Localizarea punctelor de detaliu în imaginea subțiată (schelet) este relativ simplă. Un calcul al numărului de vecini la un punct de interes într-o fereastră 3×3 este suficient în acest scop; acest lucru este similar numărului de conexiuni descris în [HTAMURA1].

Un punct terminal al crestei are un vecin în fereastră și o bifurcație a crestei, deci are cel puțin trei vecini. Toate punctele terminale ale crestei și punctele de bifurcație detectate cu această metodă nu redau mereu caracteristicile reale, însă metoda prezentată mai sus se pare că identifică majoritatea punctelor caracteristice reale. O etapă de postprocesare filtrează punctele caracteristice nedorite pe baza caracteristicilor lor structurale.

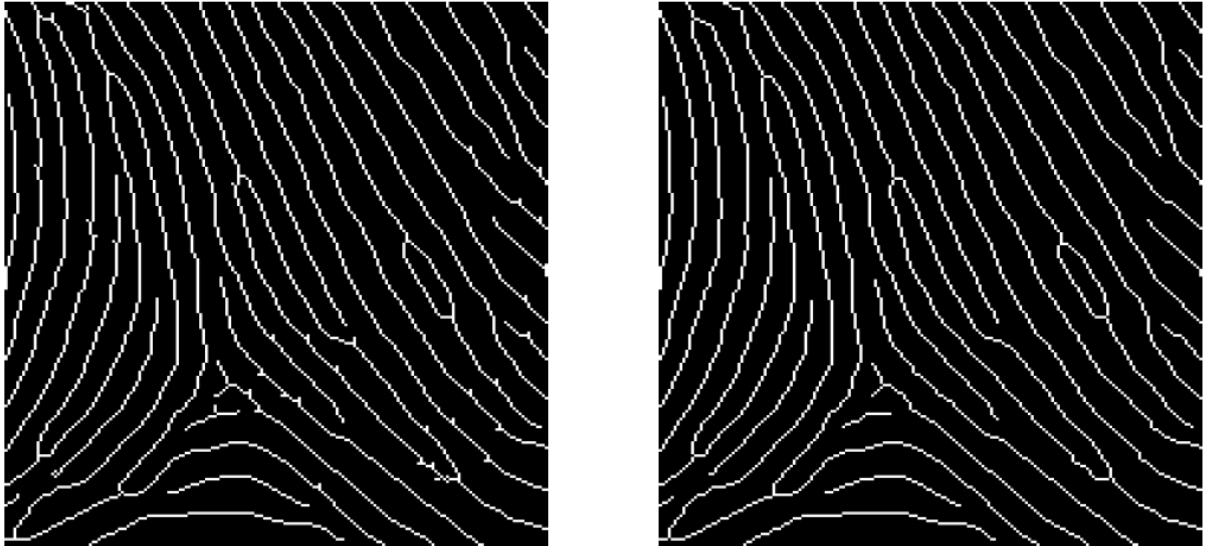


Figura 2.28. *Creste subțiate. a) înainte de îndepărtare punctelor detaliu false b) după îndepărtare punctelor detaliu false [NALINI1]*

3. Postprocesarea

Etapa de postprocesare nu elimină toate defectele posibile din imaginea amprentelor. De exemplu, crestele se întrerup datorită unei cantități insuficiente de cerneală, iar conexiunile încrucișate datorate supraîncărcării cu cerneală nu sunt total eliminate. De fapt, etapa de postprocesare introduce ocazional câteva zgomote care mai târziu conduc la caracteristici false. Etapa de postprocesare elimină caracteristicile false bazate pe relațiile structurale și spațiale ale detaliilor. De exemplu, două detalii dintr-o amprentă nu pot să existe la o distanță foarte mică una de cealaltă. Următoarele metode euristice sunt folosite pentru a valida detaliile găsite după prezentarea algoritmului propus de autori [NALINI1]:

1. eliminarea întreruperii creștelor: două puncte terminale cu aceeași orientare și la o distanță limită $L1$ sunt eliminate.
2. eliminarea vârfurilor de mici dimensiuni: un punct terminal care este conectat cu un punct de bifurcație și care se află de asemenea la o distanță limită $L2$ este eliminat.
3. efecte limită: detaliile detectate în cadrul unei margini specifice ale zonei de graniță dintr-un prim-plan sunt șterse.

Proprietatea de conectivitate cuprinsă în a doua afirmație euristică este verificată pornind de la o bifurcație. Direcțiile de urmărire sunt prezentate în figura 2.29. Un număr mare de puncte caracteristice false se elimină cu aceste trei reguli. Punctele caracteristice descoperite înainte de postprocesare și după postprocesare sunt prezentate în figura 2.23. Numărul de puncte caracteristice, prezentate în figura 2.30 (a) și figura 2.30 (b), sunt 97, respectiv 71.

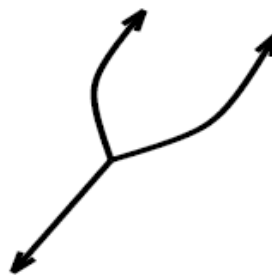
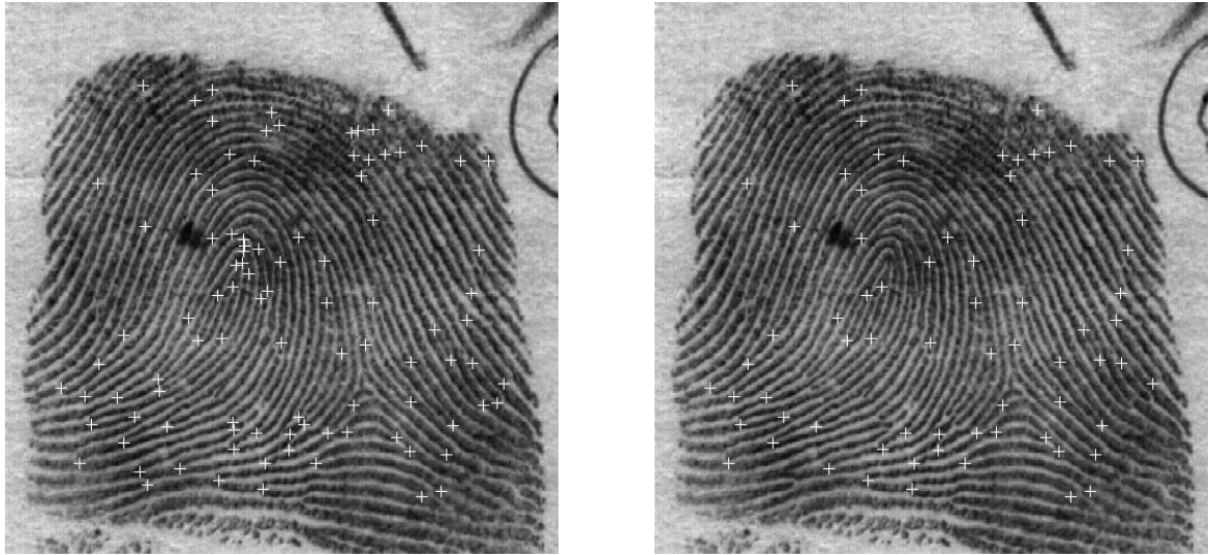


Figura 2.29. *Direcțiile de urmărire a creștelor [NALINI1]*



a) b)
Figura 2.30. Puncte caracteristice extrase. a) înainte de postprocesare; b) după postprocesare [NALINII]

4. Parametrii algoritmului

În implementarea algoritmului, autorii au folosit următorii parametri:

1. dimensiunea ferestrei (blocului) : 16 x 16 , rezultând 1024 ferestre totale într-o imagine 512 x 512;
2. numărul direcțiilor cuantificate din câmpul de orientare: 16
3. mărimea măștii de netezire: 7 x 3
4. pragul pe suma de variații într-o fereastră pentru a determina prim – plan-ul / fundalul : 2500
5. dimensiunea elementului structural: 3 x 3
6. parametrii în etapa de postprocesare: L1 = 10, L2 = 15, dimensiunea marginii = 32.

2.3.3.2. Articolul publicat în 1998, de Alessandro Farina ș.a.

Articolul „Fingerprint minutiae extraction from skeletonized binary images” – Alessandro Farina, Zsolt M.Kovacs –Vajna, Alberto Leone - [FARINA1], publicat în anul 1998, își propune să extindă utilizarea analizei STFT (*Short-Time Fourier Transform* – Transformata Fourier discretă) la analiza imaginilor 2D. Analiza STFT este capabilă să analizeze proprietățile intrinseci ale imaginii cum ar fi orientarea liniilor amprente, prim-planul regiunii și frecvența orientărilor.

Algoritmul trebuie să se folosească de analiza STFT pentru a analiza simultan orientarea cât și frecvența liniilor și trebuie să segmenteze cu succes imaginea unei amprente.

Analiza tradițională Fourier nu este adecvată pentru analiza amprentelor deoarece ea trebuie să identifice orientarea și frecvența liniilor. Pentru a se obține acest lucru s-a dezvoltat algoritmul de la analiza 1D pentru a fi capabil să analizeze imagini în format 2D. Imaginile de o calitate superioară trebuie să aibă liniile și șanțurile dintre ele foarte bine definite și să aibă un contrast cât mai mare.

O imagine de calitate slabă are un contrast foarte slab și evident liniile și șanțurile foarte slab definite. O astfel de imagine poate genera detalii eronate și adevăratele detalii precise să fie pierdute datorită calității slabe, acest lucru generând erori. Pentru a se corecta aceste

deficiențe, a fost introdus un algoritm care înainte de analiză să sporească calitatea imaginii de analizat. Algoritmul este format din două etape:

- prima etapă este reprezentată de analiza STFT,
- a doua reprezintă filtrarea contextuală.

Performanțele analizei depind în foarte mare măsură de calitatea imaginii obținute. Faptul că algoritmul este capabil să analizeze toate proprietățile intrinseci ale imaginii, cum ar fi orientarea liniilor amprente, prim-planul regiunii și frecvența orientărilor în același timp are ca rezultat prevenirea multor erori în estimarea orientării liniilor.

Algoritmul utilizează toate informațiile contextuale (orientare, frecvență, coerență unghiulară) și tot odată a redus spațiul ocupat în memoria computerului pentru respectiva analiză. Rezultatul este reprezentat de scăderea ratei erorilor cu 17% după analiza unui set de 800 de imagini.

Pe viitor autorii doresc să elaboreze un algoritm mult mai performant decât cel actual.

În lucrare, autorii prezintă extragerea detaliilor prin determinarea pozițiilor creștăturii. Compararea amprentelor se bazează de obicei pe potrivirea punctelor detaliului.

În sistemele automate de identificare sunt luate în calcul punctele detaliului care sunt de obicei bifurcațiile și terminațiile creștăturilor. În lucrarea precizată mai sus se prezintă un set de algoritmi pentru extragerea punctelor detaliului din imaginile schelet binare. Scopul articolului îl reprezintă extragerea a 40-60 de puncte reale dintr-o imagine de amprentă, când în imaginile binare schelet sunt 2000-3000. Pentru filtrarea punctelor detaliului, se propune și o metodă nouă, bazată pe pozițiile creștăturii în locul metodelor clasice, bazate pe hărți direcționale.

Cercetarea în legătură cu proiectarea sistemelor automate de identificare a amprentelor se concentrează în special pe clasificarea amprentelor în cinci clase, dar și pe potrivirea amprente, al cărei scop îl reprezintă identificarea unei persoane prin amprente. Dacă baza de date în care este stocată imaginea este uriașă, procesul de identificare necesită și o clasificare, dar și o etapă de potrivire. Există câteva puncte folosite în amprente, care se află în strânsă legătură cu topologia creștăturii și care se numesc detalii. A fost propusă o clasificare a punctelor detaliului în patru mari grupe principale: terminații, bifurcații, intersecții și nedeterminări. Cele mai importante tipuri sunt terminațiile și bifurcațiile. Într-un sistem de identificare a amprente imaginea se obține cu ajutorul unui senzor sau a unei camere video, iar procesul de potrivire începe cu filtrarea imaginii. Punctele detaliului sunt extrase și comparate cu cele stocate deja pentru a putea stabili corespondența. Extragerea punctelor detaliilor se poate baza pe scala gri sau pe imaginile binare. Pentru a simplifica sau pentru a păstra încrederea în sistemul propus de Farini în [FARINA1] și pentru a scădea costurile, postprocesarea imaginii schelet necesită reducerea numărului de detalii false (porii, pauze dintre creste, creste scurte etc).

2.3.3.2.1. Extragerea punctelor de detaliu din imagini binare scheletonizate după lucrarea Farina ș.a.

Comparația amprentelor digitale se bazează de obicei pe potrivirea punctelor caracteristice. Punctele caracteristice analizate în sistemele automate de identificare sunt în mod normal bifurcațiile creștelor și terminațiile. În această lucrare se prezintă un set de algoritmi pentru extragerea punctelor caracteristice ale amprentelor digitale din imaginile binare scheletonizate. Scopul prezentei lucrări este extracția a 40-60 puncte caracteristice adevărate dintr-o imagine a amprentelor digitale din 2000-3000 conținute în imaginile tipice aduse la trăsăturile esențiale și binarizate. Pe lângă metodologiile clasice pentru filtrarea punctelor caracteristice, o nouă abordare este propusă pentru curățarea punților / pintenilor bazată pe pozițiile creștelor în locul metodelor clasice bazate pe hărți

directionale. În sfârșit, două criterii noi și algoritmi relativi sunt introduse pentru validarea terminațiilor și a bifurcațiilor. Analiza statistică a rezultatelor obținute de abordarea propusă arată reducerea eficiență punctelor caracteristice false. Folosirea algoritmilor de extracție a punctelor caracteristice ale amprentelor digitale a fost considerată într-un sistem de identificare a amprentelor digitale în termen de timpi și rate false de respingere sau acceptare. Algoritmii de extracție a punctelor caracteristice prezentat funcționează corect pe arii cu zgomote și pe fundal, algoritmi de segmentare costisitori din punct de vedere al calculului nemaifiind necesari. Rezultatele sunt confirmate de inspecțiile vizuale ale punctelor caracteristice validate ale bazei de date cu imagini ale amprentelor digitale NIST (1999 Pattern Recognition Society. Publicat de Elsevier Science Ltd. Toate drepturile rezervate).

Cercetarea în design-ul sistemelor automate de identificare a amprentelor digitale (AFIS) se concentrează în prezent asupra clasificării amprentelor digitale în cinci clase și asupra potrivirii, a cărei scop este identificarea unei persoane prin intermediul amprentelor digitale. Dacă baza de date a imaginilor stocate este foarte mare, procesul de identificare are nevoie de clasificare și de etapele de potrivire. În lucrarea [FBI1988] autorii își concentrează atenția pe o parte a etapei de potrivire, care se bazează de obicei pe pre-procesare, extracția trăsăturilor și algoritmilor de potrivire.

Sunt multe trăsături folositoare în amprentele digitale legate de topologia creștelor papilare, numite puncte caracteristice. Institutul American de Standarde Naționale a propus o clasificare a punctelor caracteristice în patru mari grupe: terminațiile, bifurcațiile, traversările și cele nedefinite [ANSI1986]. Cele mai importante tipuri de puncte caracteristice sunt terminațiile și bifurcațiile.

În sistemul de identificare a amprentelor digitale imaginea amprentelor digitale se obține de către un senzor ori camera și procesul de potrivire începe cu filtrarea imaginii. Punctele caracteristice sunt extrase și sunt comparate cu cele ale imaginilor deja stocate pentru a stabili concordanța. Extracția punctelor caracteristice poate fi bazată pe imagini la scară - gri [MALTO1] sau imagini binare.

În lucrarea [MALTO1], autorii D. Maio, D. Maltoni, își concentrează atenția asupra unei tehnici binare bazate pe imagine, în care admitem că imaginea amprentelor digitale a fost sau obținută direct în binar sau binarizată dintr-o imagine la scară- gri. Se admite de asemenea că imaginea a fost subțiată (operație prin care sunt îndepărtați pixelii din regiunile unei imagini binare) sau scheletizată. Problema acestei metodologii este faptul că un punct caracteristic din imaginea subțiată nu corespunde întotdeauna cu un punct semnificativ din imaginea reală. De fapt, există mai mult de o mie terminații sau puncte de bifurcație aparente, în timp ce punctele caracteristice reale sunt mai puțin de 100. Un asemenea comportament apare ca o consecință a tușului insuficient, tușului în exces, ridurilor, cicatricilor și print-urilor prea mult folosite, și astfel, punctele caracteristice false pot apărea în imaginea scheletizată după pre-procesare.

Pentru a simplifica sau a păstra exactitatea AFIS-ului și a scădea costurile calculului, post-procesarea imaginii subțiate este necesară pentru reducerea numărului de puncte caracteristice false.

Mai multe abordări au fost deja propuse în ultimii ani pentru a îmbunătăți aceste imagini.

AFIS-ul propus de Stosz și Alyea [STOSALY1] folosește poziția porilor cuplați la alte puncte caracteristice extrase din imagini scanate live: calitatea imaginii subțiate a traseelor de intercreastă (văilor sau a șanțurilor papilare) este mai întâi îmbunătățită prin analizarea și extragerea segmentelor care reprezintă porii (*curățare*), apoi procesarea sintactică este folosită pentru a îndepărta punctele nedorite: două creste separate sunt conectate dacă distanța

lor este mai mică decât un prag dat și direcțiile terminațiilor sunt aproape aceleași; ridurile sunt detectate prin analizarea informațiilor asupra punctelor de ramuri învecinate.

Chen și Kuo [CHENKUO1] adoptă un proces de identificare a punctelor caracteristice false în trei pași: (i) întreruperile de creste sunt reparate într-un fel folosind direcțiile creștelor aproape de punctele caracteristice; (ii) punctele caracteristice asociate cu creștele scurte sunt eliminate; (iii) punctele caracteristice aglomerate într-o regiune zgomotoasă sunt eliminate.

Metodele lui Malleswara [MALES1] sunt folosite pentru a elimina acele puncte caracteristice false care sunt cauzate de zgomot sau procesare imperfectă a imaginii.

Un algoritm de post-procesare aplicat imaginilor binarizate și nesubțiate este propus de Fitz și Green [FITZGRE1]. Aceste tehnici sunt folosite pentru a înlătura mici găuri, întreruperi și linii în și de-a lungul creștelor și sunt implementate prin convoluția operatorilor morfologici cu imaginea.

Vârfurile ascuțite cauzate de procesul de scheletizare pot fi înlăturate de către filtrul morfologic care se adaptează propus de Ratha ș.a. [RATHA1]. Punctele caracteristice sunt detectate prin numărarea vecinilor cu valoarea 1 într-o fereastră de 3×3 . Terminațiile și bifurcațiile false sunt îndepărtate prin intermediul a trei criterii euristice: (i) două terminații cu aceeași orientare și a căror distanță este sub un prag sunt șterse (eliminarea întreruperilor de creastă); (ii) o terminație conectată la o bifurcație și sub o anumită distanță de prag este îndepărtată (eliminarea vârfurilor ascuțite); (iii) punctele caracteristice de sub o anumită distanță de la limita regiunii de prim-plan sunt anulate (tratamentul efectului de limită).

Dualitatea dintre imaginea traseelor de intercreastă și imaginea creștei a fost exploatată de Hung [HUNG1] considerând că bifurcațiile și punțile din una din cele două imagini corespund terminațiilor și întreruperilor, respectiv, din imaginea duală. Așadar, același algoritm poate fi aplicat atât traseelor de intercreastă cât și imaginilor creștei pentru a îndepărta întreruperile creștelor și punților. Fiecare margine este caracterizată de lungimea creștei corespunzătoare, în timp ce gradul unui vertex este dat de numărul de margini convergente. Pintenii, găurile, punțile și întreruperile sunt apoi înlăturate analizând unele proprietăți ale graficului creștelor. Același algoritm poate fi aplicat în mod special graficului traseelor de intercreastă pentru a înlătura întreruperile de creste, traversările sau alte configurații particulare.

Xiao și Raafat [XIAORAA1] consideră că amprente digitale au fost deja pre-procesate și scheletizate. Ei propun o post-procesare bazată pe o abordare combinată statistică și structurală. Punctele caracteristice amprentelor digitale sunt caracterizate printr-un set de atribute cum ar fi lungimea creștei, direcția pentru terminații și bifurcații, unghiul dintre două puncte caracteristice. Mai mult, fiecare terminație sau bifurcație se caracterizează de asemenea prin numărul de puncte caracteristice „care sunt confruntate” din vecinătatea sa. Aria de vecinătate depinde de distanța locală dintre creste. În final, numărul de puncte caracteristice „conectate” este evaluat. Algoritmii de post-procesare conectează terminațiile care se află față în față, înlătură bifurcațiile care se află față în față cu terminațiile sau alte bifurcații iar apoi conectează terminațiile nou generate, iar în final înlătură pintenii, punțile, structurile triunghiulare și structurile de tip scară. Din păcate, nu este posibil să atribuim o distanță „globală” de creastă întregii imagini, deoarece variază cu până la 300% din valoarea sa locală într-o amprentă digitală tipică. Mai multe metodologii ale calculului hărții locale a distanței de creastă pot fi găsite în literatura de specialitate [VAJNA1].

Algoritmii propusi în lucrarea [FARINA1] se aplică asupra imaginii subțiate sau sub formă de schelet obținută din versiunea binarizată a imaginii amprente digitale. Algoritmii standard sunt folosiți pentru a înlătura punctele caracteristice vecine din ariile zgomotoase. Repararea creștelor se face pe baza direcțiilor celor două bucăți de creastă ce trebuie conectate și direcția segmentului care trebuie să reconstruiască creasta întreruptă, în timp ce

studiile anterioare sugerau folosirea considerațiilor structurale și statistice [XIAORAA1] sau analiza distanței dintre cele două creste întrerupte [RATHA1]. Abordarea nouă propusă pentru a înlătura punțile se bazează pe pozițiile creștelor în loc de evaluarea hărților de direcție care consumă CPU (Central Processing Unit)- [HUNG1]. Creștele scurte sunt înlăturate în baza legăturii dintre lungimea creștelor și distanța medie dintre creștele, în loc de considerarea lungimii medii a creștelor. Filtrarea insulelor (deja propusă în literatura de specialitate) se face într-un mod mai eficient, deoarece nu se bazează pe construcția unui grafic care detectează căile închise. În final, doi noi algoritmi de validare topologică sunt prezentați pentru a clasifica terminațiile și bifurcațiile exacte: sunt înlăturate dacă cerințele topologice nu sunt satisfăcute, sunt clasificate ca puncte caracteristice *mai puțin exacte* dacă cerințele nu sunt pe deplin satisfăcute, altfel sunt considerate ca punctele caracteristice *de mare exactitate*. Rezultatele simulării demonstrează eficacitatea algoritmului propus și expune un fel de segmentare implicită care înlătură toate punctele caracteristice referitoare la regiunile din afara amprentei digitale.

a) *Prezentarea algoritmului propus în lucrarea [FARINA1]*

Metodologia extracției punctelor caracteristice propusă în această lucrare se potrivește pentru un sistem AFIS. Se admite că în imaginea subțiată a fost definită și o hartă locală de distanță de creastă. Harta locală a distanței de creastă definește distanța medie a creștelor în fiecare regiune a imaginii [VAJNA1]. Acest lucru este necesar deoarece distanța creștelor variază de-a lungul imaginii și reprezintă unul din cei mai importanți parametri de referință din imagine atât pentru design-ul filtrului cât și pentru extracția punctelor caracteristice.

Algoritmul execută următorii pași, conform secvenței detaliate în figura 2.31.

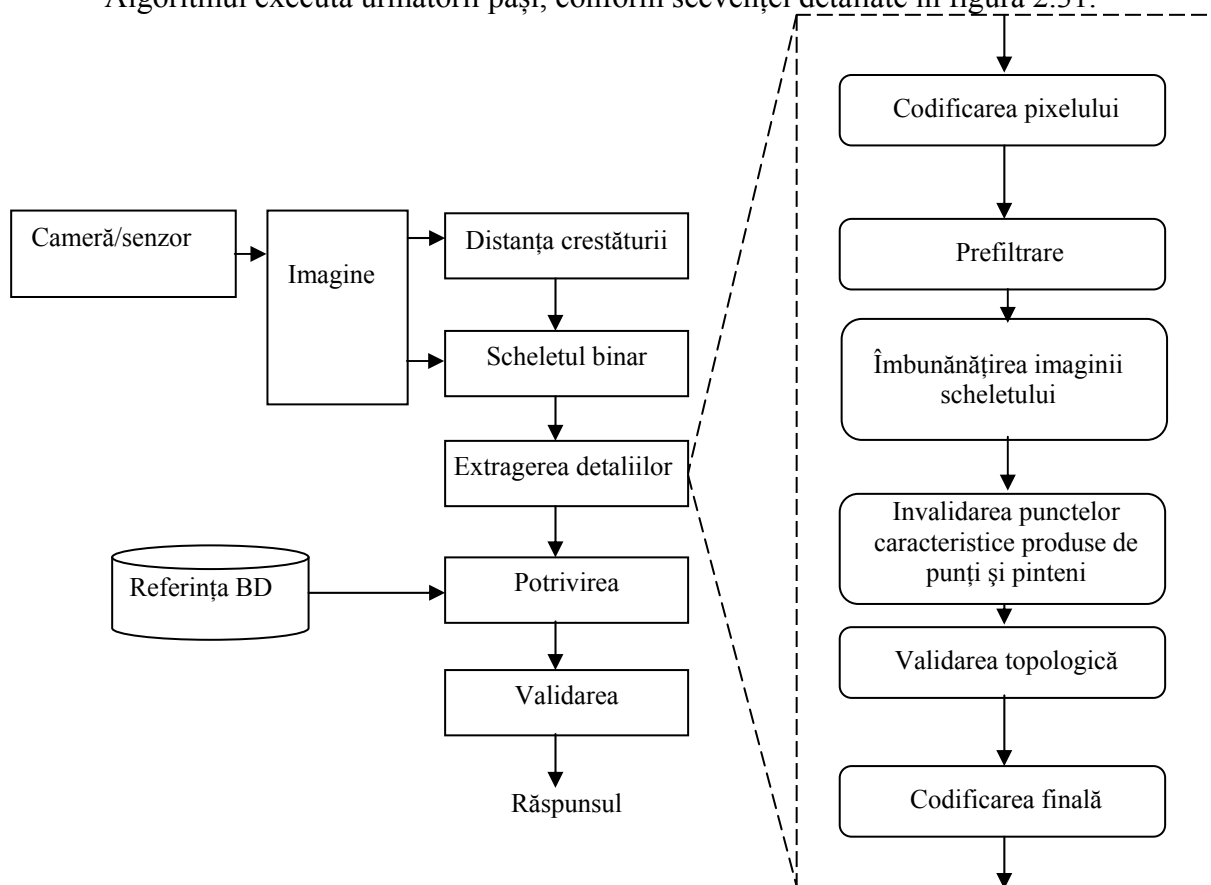


Figura 2.31. Structura generică a sistemului automat de identificare a amprentelor digitale și detaliu din blocul “Extracție puncte caracteristice”([FARINA1])

Codificarea cu pixeli

Etapa codificării efectuează clasificarea punctelor caracteristice și înlăturarea configurațiilor neclasificate. Imaginea subțiată este procesată pentru a se obține o imagine codificată în care valoarea fiecărui pixel reprezintă numărul ramurilor care pleacă din pixelul corespunzător al imaginii subțiate. [MALTO1].

Pre-filtrarea

Ariile de calitate inferioară sunt adesea prezente în imaginea originală scanată a amprentelor digitale. Algoritmii de binarizare și de subțiere produc de obicei un număr mare de puncte caracteristice false de mare densitate în aceste secțiuni ale amprentei digitale cu dificultăți evidente pentru algoritmii de identificare. Pre-filtrarea este necesară pentru a înlătura cât mai multe puncte caracteristice false posibile fără a reduce, dacă este posibil, numărul de detalii folositor pentru identificare.

O primă pre-filtrare a fost făcută deja în faza codificării, înlăturând punctele izolate și micile pete. Algoritmii de pre-filtrare scanează imaginea codificată în mod obișnuit (rând cu rând de la stânga-sus la dreapta-jos) și acționează conform tipului de configurație a punctelor caracteristice. La această fază o terminație lângă un alt punct caracteristic este ștearsă. Bifurcații adiacente sunt înlăturate și cele unde una sau mai multe intersecții / încrucișări sunt detectate în vecinătatea acestora. De asemenea, intersecțiile sunt îndepărtate dacă o altă intersecție este detectată în vecinătatea lor.

Îmbunătățirea imaginii subțiate

Îmbunătățirea imaginii subțiate permite: repararea creștelor prin conectarea terminațiilor identificate ca întreruperi de creastă, eliminarea punților, pintenilor și a creștelor scurte. Întreruperile de creastă sunt cauzate de tușul insuficient, riduri și cicatrici. Două terminații care se află față în față pot fi conectate, reparând creasta, dacă sunt considerate ca aparținând aceleiași creste. Algoritmii de reparare a creștelor funcționează în trei pași: căutarea terminațiilor care sunt situate față-în-față, cea mai bună selecție a terminațiilor și reconstrucția creștei.

Invalidarea punctelor caracteristice produse de punți și pinteni

Punctele caracteristice produse de punți și pinteni sunt invalidate, odată ce aceste configurații au fost recunoscute. Punctele caracteristice apropiate sunt de asemenea înlăturate.

Eliminarea punților și a pintenilor

Punțile și pintenii dau naștere la puncte caracteristice false și trebuie înlăturate ca în exemplele din figura 2.32.a și 2.32.b. Este important să se aplice acest algoritm înainte ca punctele caracteristice învecinate să fie căutate, pentru a păstra cât mai multe puncte caracteristice valide. O metodă nouă este propusă pentru a detecta și șterge punțile și pintenii. În lucrările anterioare, punțile și pintenii sunt detectate folosind o hartă locală dominant direcțională [HUNG1]. Algoritmii propuși în această lucrare [FARINA1], folosesc o considerație vizuală: bifurcațiile găsite atunci când aceste două modele false sunt detectate, sunt diferite de bifurcațiile reale. În aceste bifurcații „false” doar două ramuri sunt aliniate în timp ce direcția celei de-a treia ramuri este în general diferită. În punți, a treia ramură este aproape ortogonală celorlalte două.

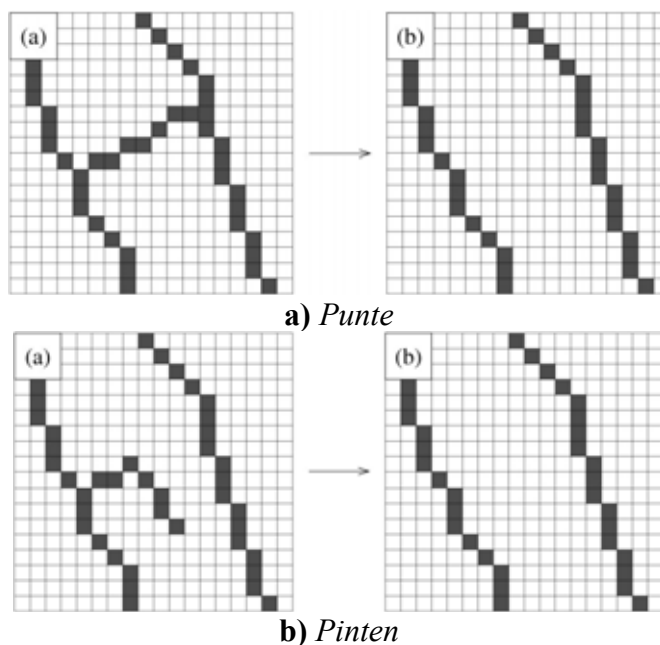


Figura 2.32. Punți și pinteni [FARINA1]

Valoarea absolută a produsului scalar dintre vectorii de unitate ai ramurilor este folosită pentru a estima paralelismul sau ortogonalitatea celor două ramuri. În această implementare un prag de ortogonalitate θ_{bs1} și două praguri de aliniament θ_{bs2} și θ_{bs3} au fost folosite. Două direcții sunt considerate a fi ortogonale dacă valoarea absolută a produsului scalar este mai mică decât $\theta_{bs1} = 0.55$, când unghiul este mai mare decât 56° . Două direcții sunt considerate a fi alineate dacă valoarea absolută a produsului scalar este mai mare decât θ_{bs2} (în pasul 1e al algoritmului) sau θ_{bs3} (în pasul 2a), $\theta_{bs2} = 0.85$ și $\theta_{bs3} = 0.80$ (corespunzător unui unghi mai mic decât 32° , respectiv).

Algoritm. Eliminarea punților și pintenilor

Pentru fiecare bifurcație:

- (1) dacă sunt cel puțin $N_{lr} = \lambda$ puncte în fiecare ramură, unde λ este distanța locală de creastă în pixeli:
 - (a) se estimează direcția fiecărei ramuri prin regresia lineară folosind cel puțin N_{lr} puncte;
 - (b) dacă două ramuri sunt alineate iar a treia este aproape ortogonală: se caută un alt punct caracteristic de-a lungul ramurei ortogonale din primele $N_{bs1} = 5\lambda / 6$ puncte;
 - (c) dacă un alt punct caracteristic este găsit: se înlătură puntea sau pintenul;
 - (d) dacă două ramuri sunt alineate, dar a treia nu este ortogonală: se caută o terminație în primele $N_{bs2} = 3\lambda / 2$ puncte;
 - (e) dacă terminația este găsită: se înlătură pintenul;
- (2) dacă doar două ramuri conțin cel puțin N_{lr} puncte:
 - (a) dacă aceste două ramuri sunt alineate: se caută de-a lungul celei de-a treia și se înlătură această punte scurtă sau pinten.

Eliminarea punctelor caracteristice alăturate

Algoritmul înlătură mai întâi terminațiile apropiate și apoi celelalte puncte caracteristice apropiate. Orice terminație găsită într-o arie pătrată mică este înlăturată. Distanța minimă acceptată dintre două terminații este dată de $N_{ce} = \lambda / 2$ pixeli, unde λ este

distanța locală de creastă. Regiunea de căutare este un pătrat de latură $2N_{ce} + 1$ centrat pe terminația curentă.

Sunt mai puțin de 100 puncte caracteristice într-o imagine de bună calitate cu amprentă digitală rulată iar distanța lor relativă este rar mai mică decât distanța locală de creastă, așadar punctele caracteristice prea apropiate pe aceeași ramură sunt înlăturate.

Validare topologică

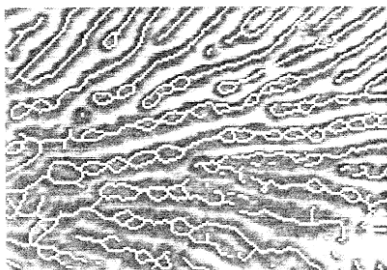
Algoritmii de validare topologică sunt bazați pe topologia crestei învecinate:

- Înlăturarea insulei: Bifurcații care aparțin unei căi scurte închise sunt invalidate.
- Validarea bifurcațiilor și a terminațiilor: Configurația crestei învecinate este studiată pentru a verifica dacă aceste puncte caracteristice sunt reale sau flase. Acești doi algoritmi noi vor introduce coduri de puncte caracteristice exacte și mai puțin exacte.

Eliminarea insulelor

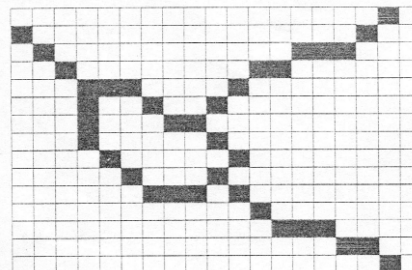
Căile închise sunt menționate de obicei ca insule. Chiar dacă acest punct caracteristic special poate apărea într-o amprentă digitală obișnuită, insulele sunt generate adesea în imaginea scheletizată de arii zgomotoase și unde creste mari neregulate sunt subțiate ca în figura 2.33, dând naștere la puncte caracteristice false.

Termenul insulă este de obicei folosit pentru două bifurcații care se află ”față în față” și care formează un contur închis. Poate fi observat că aceasta este cea mai frecventă situație doar în imaginile de foarte bună calitate. S-au experimentat de asemenea contururi închise generate de interacțiunea a trei sau mai multe bifurcații și intersecții, ca în exemplul din figura 2.34. O insulă poate fi generată de asemenea de o singură bifurcație unde două ramuri se scurg una în cealaltă.



Insule cauzate de creste mari

Figura 2.33. Vizualizare bifurcații[FARINA1]



Trei bifurcații aparținând unei insule

Figura 2.34. Vizualizare insulă [FARINA1]

Validarea bifurcației

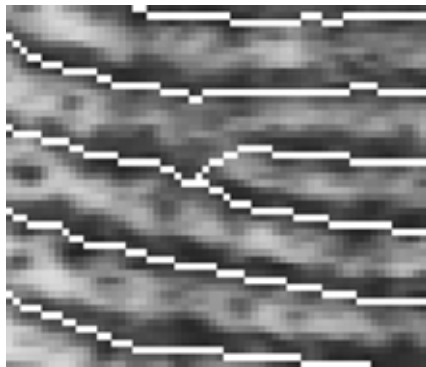
Figura 2.35.a. arată topologia unei bifurcații tipice valide. De fapt, cu excepția bifurcațiilor localizate lângă *nucleul* amprentei digitale, crestele de lângă bifurcație merg paralel cu ramurile care pleacă. Structurile bifurcațiilor diferite pot fi evidențiate pe marginile amprentelor digitale sau pe arii texturate. Astfel, proprietatea de mai sus este potrivită pentru înlăturarea bifurcațiilor izolate în ariile ne semnificative.

Algoritmii de validare propus pot fi divizați în două faze: prima este necesară pentru a distinge între o bifurcație validă și una invalidă, a doua este cerută pentru a găsi o bifurcație sigură. Prima fază verifică existența creștelor laterale pentru fiecare ramură care pleacă de la bifurcație (figura 2.35.b). A doua fază verifică proprietățile geometrice din jurul bifurcației (figura 2.35.c).

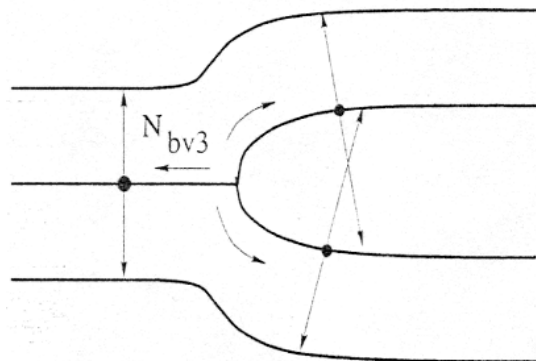
Algoritm. Validarea bifurcației

Pentru fiecare bifurcație validă:

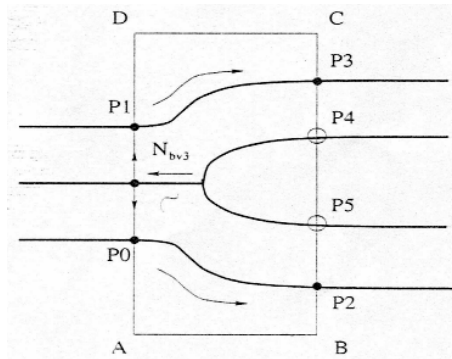
- (1) Se calculează direcțiile celor trei ramuri la $N_{bv1} = 3\lambda/2$ puncte;
- (2) Dacă punct caracteristic este găsit în cadrul a $N_{bv2} = \lambda$ puncte: se invalidează această bifurcație și se merge mai departe;
- (3) Deplasare de-a lungul fiecărei ramuri cu $N_{bv3} = 3\lambda/2$ puncte și se verifică dacă o margine laterală este prezentă în cadrul $N_{bv4} = 3\lambda/2$ (vezi figura 2.35.b);
- (4) Dacă o creastă laterală nu este găsită: se invalidează această bifurcație și se merge mai departe;
- (5) Dacă creste laterale sunt găsite: se marchează bifurcația ca bifurcație mai puțin exactă;
- (6) Se definește o arie dreptunghiulară ABCD (vezi figura 2.35.c) cu:
 $AB = 3\lambda/2$,
 $AD = 4\lambda$;
- (7) Deplasare de-a lungul creștelor laterale (vezi figura 2.35.c) de la intersecțiile de la stânga cu dreptunghiul P0 și P1 spre intersecțiile din dreapta P2 și P3;
- (8) Dacă se găsește o terminație: se invalidează această bifurcație și se merge mai departe;
- (9) Dacă P2 și P3 sunt atinse: se marchează bifurcația ca exactă.



a) Topologia unei bifurcații tipice valide



b) Validarea bifurcației



c) Verificarea proprietăților geometrice din jurul bifurcației
Figura 2.35. Vizualizare crestături [FARINA1]

Validarea terminațiilor

Distanța dintre două creste adiacente rămâne aproape constantă acolo unde nu mai există alte puncte caracteristice în traseul de intercreastă. Aceeași considerație se aplică reprezentării duale a amprentei digitale analizând comportamentul traseului de intercreastă. Această regularitate este perturbată de prezența unei terminații când o creastă este întreruptă sau de structura ei duală, o bifurcație, când traseul de intercreastă se termină.

Figura 2.36 arată comportamentul tipic al crestei în jurul unei terminații: crestele învecinate se închid una pe alta când creasta dintre ele este întreruptă. Poate fi observat cum distanța dintre crestele adiacente rămâne aproape constantă.

Algoritmul de validare a terminațiilor propus se bazează pe această considerație vizuală și înlătură majoritatea terminațiilor false și pe cele care generate de marginile amprentelor digitale.

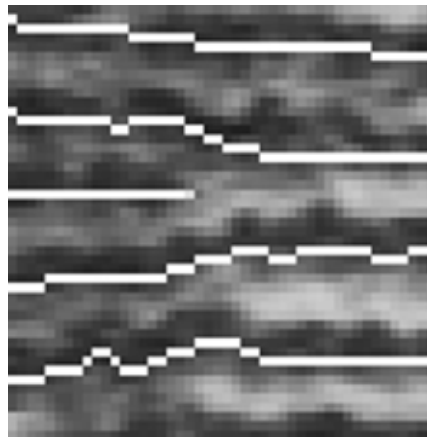


Figura 2.36. Topologia tipică a unui punct terminal [FARINA1]

Algoritm. Validarea terminațiilor

Pentru fiecare terminație validă:

- (1) se evaluează direcția terminației definită ca direcția crestei întrerupte pe $N_r = \lambda$ puncte;
- (2) dacă direcția nu poate fi evaluată pentru existența unui punct caracteristic în cadrul N_r puncte; se invalidează terminația și se merge mai departe;
- (3) deplasare de-a lungul terminației $N_{ev1} = \lambda/2$ puncte;
- (4) se caută crestele învecinate în mod ortogonal direcției terminației;
- (5) dacă în cadrul $N_{ev2} = 3\lambda/2$ puncte crestele nu sunt interceptate: se invalidează terminația și se merge mai departe;
- (6) se definește o arie dreptunghiulară ABCD (vezi figura 2.37) cu:

$$AB = 3\lambda/2,$$

$$AD = 3\lambda,$$

(7) crestele laterale sunt scanate de la P0 și P1 spre ieșirea din dreptunghi (punctele P2 și P3) sau la apariția unei terminații sau bifurcații;

(8) dacă o creastă laterală traversează dreptunghiul în DC sau AB, în timp ce cealaltă traversează dreptunghiul în BC: se marchează terminația ca și terminație mai puțin exactă;

(9) dacă un punct caracteristic este găsit: se invalidează terminația și se merge mai departe;

(10) dacă ambele creste laterale traversează dreptunghiul în BC:

(a) dacă crestele laterale nu sunt *convergente* (vezi figura 2.37): se marchează terminația ca mai puțin exactă, altfel se marchează terminația ca fiind de mare exactitate;

(b) dacă o creastă este detectată între P2 și P3: se invalidează terminația.

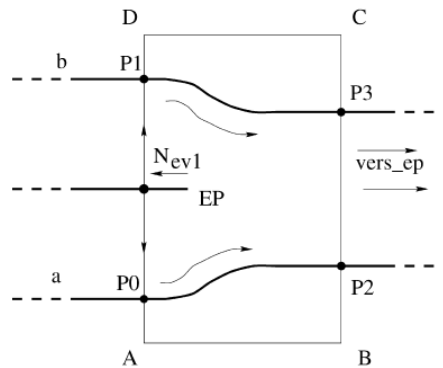


Figura 2.37. Aria dreptunghiului [FARINA1]

Convergența creștelor

Punctele creștelor laterale conținute în dreptunghiul ABCD sunt folosite pentru a estima direcțiile lor. Dacă u_1 și u_2 sunt vectorii unitate ai direcțiilor estimate, gradul convergenței este estimat de componenta verticală a produsului vector:

$$C = (u_1 \wedge u_2) \cdot k$$

unde k este vectorul unitate al axei normal la planul imaginii. Creștele laterale sunt considerate convergente dacă coeficientul $C \geq \theta_{ep} = 0.085$ corespunzător unui unghi de 4° . Dacă creștele sunt aproape paralele, atunci $C \cong 0$, în timp ce pentru creste divergente, $C < 0$.

Dacă o terminația nu verifică condiția de convergență este marcat ca *mai puțin exact* dar nu este invalidat deoarece creștele laterale ale terminațiilor valide pot fi aproape paralele și caracterizate de convergența foarte lentă.

Rezultate

Procedura de extracție a punctelor caracteristice propusa a fost testată pe imaginile a 500 de amprente digitale de la NIST Special Database 4 [NIST1]. Imaginile cu amprente digitale sunt stocate ca 512 x 512 pixeli imagini de scară-gri de 8-biți. Baza de date este organizată pentru a garanta existența mai multor topologii de amprente digitale diferite și imagini de calitate diferite.

2.3.4. Prezentarea unor articole și evenimente referitoare la recunoașterea persoanelor după amprentă, publicate după anul 1998

În anul 1999 Principala componentă a Sistemului Integrat Automat pentru Identificarea Amprentelor Digitale – IAFIS (Integrated Automated Fingerprint Identification System) devine operațională. IAFIS, sistemul FBI de identificare a impresiunilor digitale ale celor zece degete, devine operațional. Anterior creării standardelor asociate lui, o amprentă digitală prelevată de un sistem nu putea fi verificată în baza de date a altui sistem. Dezvoltarea a rezolvat problemele legate de comunicare și schimbul de informații dintre sistemele independente, precum și pe cea a introducerii unei rețele naționale de centralizare a amprentelor în format electronic, aflată în administrarea FBI. IAFIS este utilizat pentru verificarea antecedentelor penale și identificarea amprentelor latente descoperite la fața locului. Sistemul oferă capacități de verificare automată a impresiunilor latente sau a amprentelor tuturor celor zece degete, de stocare în format electronic a imaginilor feței și fotografiilor amprentelor, și face posibil schimbul electronic de amprente și rezultate ale verificării în baza de date.

În același an apare și patentul american cu nr. 5,926,555 – Fingerprint Identification System, James R.Ort, Donglas L.Lange, Frederick W.Kiefer, Raymond J.Dennison – [ORT1].

Principalele probleme care sunt tratate în cadrul patentului sunt:

- Pașii care trebuie parcurși pentru a transforma o amprentă într-o imagine digitizată alb – negru și de a fi analizată de către computer pixel cu pixel. Se formează două fișiere care au următoarele sarcini: 1. stochează detaliile despre unghiurile dintre crestele amprenteii; 2. stochează zonele de interes a imaginii disponibile;
- Uniformizarea contrastului pentru imaginea de intrare;
- Generarea mai multor hărți a gradientilor pentru imaginea scanată pentru a ușura găsirea de către calculator a detaliilor necesare identificării, respectiv detaliile esențiale și unghiurile dintre linii;
- Determinarea frecvenței distanțelor dintre linii care formează modelul amprenteii, numărul șanțurilor dintre linii și formele de spirală, buclă sau arc formate, cât și numărul lor;
- Utilizarea filtrelor Fourier pentru procesul de nivelare a hărților care prezintă unghiurile dintre creste;
- În faza de potrivire (matching) se folosesc două tipuri de amprente; una a persoanei în cauză și alta din baza de date. La început se compară datele esențiale, iar apoi dacă există asemănări, încep să se compare și detaliile care nu sunt esențiale.

Patentul nr. 6466686 - System and method for transforming fingerprints to improve recognition – Andrew W. Senior (USA) – [SENIOR1] a fost publicat în anul 2002. Cercetătorii își propun să elaboreze o metoda pentru a spori calitatea unei amprente prin eliminarea părților denaturate ale acesteia. De mulți ani amprentele au fost folosite pentru identificarea persoanelor. Metodele de a obține o amprenta sunt mai multe la număr, cea mai veche fiind amprentarea pe hârtie după ce a fost îmbibat degetul în cerneală. Mai nou se pot preleva amprente de pe aproape orice suprafață, acestea putând fi prelevate deoarece degetele fiind murdare cu o substanță dulce (lipicioasă) sau cu o substanță uleioasă, amprentele rămân imprimate pe suprafață. Metodele moderne nu necesită cerneală sau hârtie deoarece se folosește un procedeu numit “live-scan” (scanare în timp real) care prin ultrasunete sau optic/electronic înregistrează amprenta. Problema ridicată este reprezentată de deformarea amprenteii. Aceasta apare deoarece se încearcă capturarea unei imagini 3D cu ajutorul unui aparat cu format 2D. Deformarea apare în momentul amprentării deoarece, atunci când se înregistrează toată suprafața, degetul este presat. Această deformare poate fi minimizată prin

instruirea personalului de a avea grijă cum prelevează amprenta. Dar cu toate aceste deformarea este inevitabilă deoarece se aplică o suprafața 3D pe o suprafața 2D. Degetul poate fi scanat și în aer cu ajutorul unui laser pentru a se evita deformarea dar și în acest caz pot exista diferențe deoarece, de exemplu, forma degetului la acel moment depinde și de concentrația de apă din piele.

Această problemă este una gravă deoarece calculatorul poate fi indus în eroare întrucât distanțele dintre linii și anumite caracteristici nu mai corespund cu imaginea din baza de date și rezultatul generat poate fi unul fals.

Invenția dorește să măsoare gradul de deformare, iar mai apoi să o reducă prin inversarea procesului de deformare într-un mod sistematic.

De aici se reduce riscul erorilor, iar gradul modificării ar trebui să fie aproximativ egal pentru toate imaginile din baza de date, în acest fel generându-se un rezultat real. Aparatul este format dintr-un calculator cu unul sau mai multe procesoare, cu una sau mai multe medii de memorare pentru stocarea imaginii și cu unul sau mai multe mijloace de capturare a imaginii.

Computerul captează una sau mai multe imagini de bază care sunt transformate la rândul lor într-o reprezentare a localizării liniilor și a distanțelor dintre acestea, iar mai apoi se estimează gradul de deformare măcar la o porțiune din amprentă și se combină toate măsurătorile obținute de la celelalte imagini. Rezultatul reprezintă gradul de modificare prezent care va fi eliminat. În acest fel se reduce gradul de deformare, deci crește rentabilitatea și încrederea rezultatelor generate de aparat. Apoi se reface harta amprentei respective pentru a putea fi comparată.

O altă metodă de a compara o imagine deformată este de a estima toate distanțele dintre linii și de a estima localizarea deformărilor prezente. În acest fel se extrag toate detaliile precise de pe imagine, după care li se aplică o anumită deformare pentru a se ajunge cât mai aproape de forma imaginii de comparat. Imaginea care trebuie comparată poate fi scanată, poate fi preluată din arhivă, poate fi primită de la altă unitate de lucru sau poate fi refăcută din harta unei amprente deja existente.

Meritul acestui patent este acela că s-a elaborat un aparat care să reducă semnificativ într-un fel sau altul rata erorilor din cauza deformărilor amprentei.

Articolul „Fingerprint classification Using Oriented Field Flow Curves” – Sarat C. Dass and Anil K. Jain – [DASS1] a fost publicat în anul 2002. Clasificarea manuală a amprentelor începe prin inspectarea cu foarte mare atenție a caracteristicilor geometrice ale curbilor crestăturilor majore dintr-o imagine a unei amprente. În această lucrare se propune o abordare automată pentru identificarea caracteristicilor geometrice ale creștelor, bazată pe curbe generate de câmpul de orientare, denumite *curbe ale câmpului orientare (OFFC)*. Caracteristicile geometrice ale curbilor OFFC sunt determinate prin analiza hărților izometrice ale planurilor tangente cu un punct care traversează curba dintr-un capăt în celălalt. Calea trasată de harta izometrică este alcătuită din câteva caracteristici importante, cum ar fi punctele și locațiile de schimbare a semnului precum și valori ale extremelor locale, care identifică în mod unic caracteristicile geometrice ale fiecărei OFFC. Mai mult decât atât, aceste caracteristici sunt invariante în ceea ce privește schimbarea locației, rotației și modificării dimensiunilor amprentei. Autorii acestui articol au aplicat procedura pe baza de date NIST4, care constă din 4000 de amprente, fără a se folosi nici o metodă de învățare. Clasificarea în patru clase majore de amprente (arc, buclă stânga, buclă dreapta și spirală) fără opțiuni de eliminare, a dus la o acuratețe de 94.4%.

În anul 2003 apare lucrarea „Fingerprint Minutiae Extraction Based On FPGA and Matlab” – Victor Lopez Lorenzo, Pablo Huerta Pellitero, Jose Ignacio Martinez Torre, Javier Castillo Villar – [LORENZO1]. Sistemele robuste de extragere a caracteristicilor amprentelor

digitale impun necesități de calcul care sunt greu de îndeplinit pentru un sistem de procesare. Au fost propuse mai multe soluții hardware pentru a se sacrifica robustețea în favoarea vitezei, dar aceste sisteme nu sunt capabile să manipuleze amprente parțiale, murdare sau distruse sau, cel puțin, nu pot extrage suficiente caracteristici pentru a permite algoritmului de potrivire să recunoască amprenta ca fiind una validă. În acest articol s-a propus un algoritm software de extragere a punctelor caracteristice, ajutat de o placă PCI de coprocesare, echipată cu Xilinx FPGA.

Manualul „Handbook of Fingerprint recognition” – Davide Maltoni, Dario Maio, Anil K.jain, Salil Prabhakar - [MALTO1] a apărut în anul 2003, iar a doua ediție a fost publicată în anul 2009. Cartea reprezintă un material foarte bine documentat și poate fi utilizat în aprofundarea informațiilor despre domeniul recunoașterii persoanelor după amprenta digitală.

Patentul nr. 7,596,248 - Method for identification of person by recognition of a digital fingerprint – Jean-Francois Cova (Paris) & frederic Chevalier Verneuil sur Seine – Franța – [COVA1] a fost publicat în anul 2009. Autorii acestui patent doresc, ca și celelalte metode anterior formulate, să dezvolte metoda de identificare a unei persoane pe baza amprentei digitale. Se dorește a se găsi o metode de identificare a unei persoane după amprenta unui deget de la mână sau amprenta unui deget de la picior.

Cercetătorii vor să folosească chiar și o parte dintr-o amprentă pentru identificarea persoanei în cauză, amprenta ridicată de pe o suprafață dură sau de pe un obiect. Invenția nu se aplică numai pentru amprentele degetelor de la mâini sau celor de la picioare ci se aplică și pentru urmele lăsate de palmă sau de baza piciorului deoarece și acestea conțin caracteristici asemănătoare amprentelor.

Când suprafața de pe care se ridică amprenta este plană sau aproximativ plană se poate spune că imaginea digitală reprezintă o reproducere aproape perfectă a topologiei zonei.

Dar dacă amprentele sunt preluate de pe o zonă curbată (mânerul unei unelte, clanța unei uși etc) ceea ce se poate preleva cu exactitate este partea centrală a amprentei, care va fi de folos în mare măsură, deoarece părțile laterale (dinspre capete) vor fi practic inutilizabile.

Dacă se proiectează imaginea unei amprente prelevate de pe o suprafața curbă pe un perete plan se vor putea observa diferențele notabile și modificările care apar. Acest lucru face compararea amprentelor mult mai grea, putând aduce cu sine erori. Datele prelevate de pe oricare dintre aceste suprafețe sunt comparate cu datele aflate în baza de date pentru a se ajunge la un rezultat.

Ampretele prelevate de pe o suprafață curbă sunt trimise unui calculator care conține un algoritm specializat, ce va transforma amprenta din forma existentă pe suprafața curbă într-o formă care ar trebui să existe pe o suprafața plană.

De aici se poate folosi imaginea pentru a fi comparată cu altă imagine din baza de date și a se compara punctele esențiale și toate elementele posibile care ar putea duce la un rezultat favorabil. Imaginea este separată în mai multe sub-imagini care ar putea fi generate pe o suprafață plană și mai apoi aceste imagini sunt unificate de către algoritm într-o imagine mare care să fie relevantă și utilă.

Numărul articolelor este în continuă creștere, după cum se poate vedea printr-o căutare pe site-urile de specialitate (IEEE, IET, Thomson, etc.). De exemplu, în anul 2009 în cadrul IEEEExplore, au fost găsite 802 articole care conțin cuvântul „fingerprint”, în 2010 – 833, în 2011 – 737, 2012 – 788 și 672 articole din anul 2013. Acest lucru demonstrează un real interes față de acest domeniu al recunoașterii persoanelor după amprentă.

CAPITOLUL III

Stadiul actual al cercetărilor referitoare la recunoașterea persoanelor după iris

3.1. Structura ochiului uman și a irisului

Globul ocular al omului are forma unei sfere, formă dată de scleră. Corneea este membrana transparentă a ochiului, avasculară, cu rol de protecție și de mediu refringent. Camera anterioară reprezintă spațiul dintre fața posterioară a corneei și fața anterioară a irisului.

Irisul este un disc circular colorat, este parte a uveei oculare, fiind susținut suspendat în umoarea apoasă prin corpul ciliar. Este alcătuit dintr-o stromă conjunctivă de tipul mezenechimul embrionar, acoperit anterior de epiteliu și posterior de o foia pigmentară (partea iridiană a retinei). Culoarea este dată de numărul de melanofori din stromă. Diametrul este de 12 - 13 mm și o grosime în medie de 0,35 mm. *Pupila* - orificiu circular sau alungit în centrul irisului, care permite prin contracție sau dilatare să se dozeze cantitatea de lumină ce pătrunde în ochi; are rolul de apertură a ochiului.

Suprafața anterioară a irisului poate fi împărțită în două zone principale: zona internă-pupilară și zona externă-ciliară, separate prin colereta iriană. Colereta este o proeminență festonată, mai mult sau mai puțin vizibilă. Lacunele (cripte iriene Fuchs) sunt rezultatul unor defecte în formarea embriologică a irisului. Ele sunt descrise ca fisuri în grosimea irisului, cu așezare radială față de pupilă, cu adâncime, lățime și lungime variabilă. Nodulii Wölfflin reprezintă condensări rotunjite ale țesuturilor stratului anterior și se găsesc cel mai frecvent în treimea externă a irisului. Ei au dimensiuni, forme și nuanțe de culoare diferite iar numărul lor este variabil. În țesutul irisului se descriu și inele de contracție, concentrice cu pupila și limbul, situate de obicei în zona ciliară (figura 3.7).

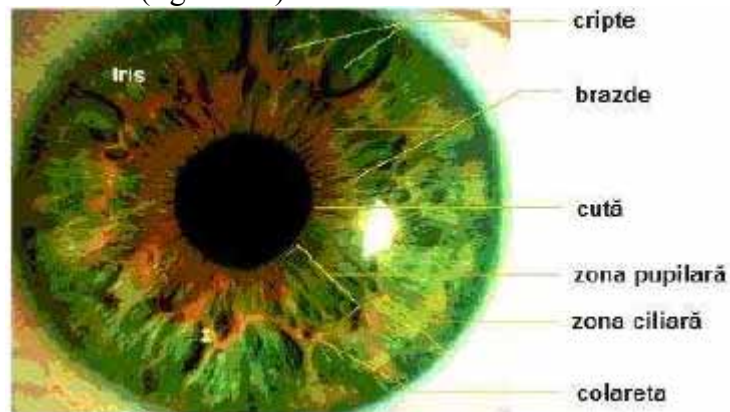


Figura 3.7. Structura irisului [MOLDO1]

Fără eforturi suplimentare din partea operatorului uman, achiziția de imagine a irisului nu se poate limita la o imagine ce conține doar irisul. Mai degrabă, achiziția de imagini va cuprinde irisul ca parte a unei imagini mai mari care conține și date suplimentare din imediata apropiere a ochiului. Din acest motiv, înainte de a începe procedura de *pattern matching* a irisului, este importantă localizarea acelei porțiuni din imaginea captată care corespunde irisului. În mod particular, este necesară localizarea acelei porțiuni de imagine derivativă din

interiorul limbusului (zona de trecere dintre sclerotică și iris) și din afara pupilei. Mai mult, dacă pleoapele blochează o parte a irisului, atunci, doar o porțiune din imaginea formată între pleoapa superioară și cea inferioară trebuie luată în considerare. În mod normal, datorită modificării de culoare pe care zona limbică o marchează, aceasta este percepută ca un contrast puternic. Totuși, părțile inferioare și superioare ale acestei zone pot fi acoperite de pleoape. Limita pupilei poate fi mult mai puțin vizibilă. Contrastul dintre un iris puternic pigmentat și pupila acestuia poate fi destul de redus. Mai mult, chiar dacă în mod normal pupila este mai închisă la culoare decât irisul, o situație inversă poate fi întâlnită la bolnavii de cataractă: irisul, devenit o lentilă opacă, generează o cantitate mare de lumină defocalizată. Ca și în cazul limitei pupilare, contrastul în cazul pleoapelor este variabil, în funcție de pigmentarea diferită a pielii și a irisului. Limita pupilei poate fi de asemenea neregulată, datorită genelor. Cumulate, toate aceste observații sugerează că localizarea irisului trebuie să depindă de o serie largă de contraste, de margini neregulate sau brute, și să poate fi realizată independent de ocluzii variabile.

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:

- imposibilitatea de a modifica prin intervenții chirurgicale structura sa, fără riscuri inacceptabile;
- protecția și izolarea sa inerentă de mediul fizic;
- 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.

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 imprimată cu imaginea unui iris nu vor suferi astfel de variații în timp. Deoarece procesul descris mai sus de găsim 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.

În continuare se vor prezenta cronologic lucrările reprezentative din domeniul recunoașterii irisului.

3.2. Echipamente de achiziție și de prelucrare a imaginilor brute

3.2.1. Importanța senzorilor

Tehnologia de recunoaștere a irisului se bazează pe analiza imaginii generate de un senzor. Deci se pot identifica avantajele majore pe care le au senzorii în prelucrarea și analiza irisului și anume:

- Imaginea preluată de către senzori poate fi prelucrată pe calculator. Există echipamente de preluare a imaginilor care conțin software specializat și metode de procesare a irisului, dintre care se pot aminti: modificarea contrastului, inversare a tonurilor de gri, colorarea artificială, realizarea de măsurători, etc.
- Calitatea imaginii: îmbunătățirea unei imagini într-un anumit sens predefinit; reconstituirea sau refacerea unei imagini degradate, prin utilizarea unor informații despre fenomenul de degradare; principalele surse de zgomot sunt: achiziția și transmisia imaginilor (camera CCD: zgomot influențat de nivelurile de iluminare și temperatura senzorului; transmisia imaginilor: interferențele din canalele de transmisie);
- Grad înalt de siguranță a sistemelor bazate pe senzori cu ultrasunete. Cum poate fi detectată amprenta a unui iris fals? Folosirea unui iris indică o infracțiune gravă, nu este același lucru cu furtul unui cod PIN sau a unei parole. Un traductor care detectează presiunea sângelui poate indica dacă irisul aparține unei persoane în viață.
- Economia de timp reprezintă un alt avantaj esențial, mai ales în cazul sistemelor CCD (Change-Coupled Device) care permit afișarea imaginii imediat după expunere;
- Ecologic (neinvaziv pentru mediu). Utilizarea senzorilor optici, capacitivi sau cu ultrasunete nu necesită substanțe chimice cum erau folosite la dezvoltarea filmelor.

3.2.2. Dispozitive utilizate în vederea captării imaginii irisului

Imaginea irisului poate fi captată de un aparat de fotografiat standard folosind deopotrivă lumina naturală și infraroșie și poate fi o procedură manuală sau una automată.

Aparatul de fotografiat poate fi poziționat la o distanță cuprinsă între 9 cm și un metru pentru a capta imaginea.

În procedura manuală, utilizatorul trebuie să ajusteze aparatul de fotografiat pentru a încadra irisul și trebuie să fie la o distanță între 15 cm până la 30 cm de aparatul de fotografiat. Acest proces este mult mai greu când se realizează manual și necesită o pregătire specială a utilizatorului pentru a avea succes.

Procedura automată folosește un set de aparate de fotografiat ce localizează automat fața și irisul. Îndată ce aparatul de fotografiat a localizat ochiul, sistemul de recunoaștere al irisului identifică apoi imaginea care ilustrează cel mai bine centrarea și claritatea irisului.

În aplicațiile realizate în această teză de doctorat, s-a folosit camera Panasonic BM-ET100US, care este prezentată în figura 3.2. Camera este formată din două obiective, cel de sus fiind folosit exclusiv pentru recunoașterea după iris, iar cel de jos poate fi folosit ca și webcam. Această cameră prezintă avantajul că se poate folosi, de asemenea, și pentru recunoașterea facială a persoanei, prin folosirea webcam-ului. Astfel, această cameră este ideală pentru o recunoaștere multimodală a persoanei, după iris și după fizionomia feței.

Sub obiectivul webcam-ului se află o sursă de lumină în spectrul infraroșu apropiat, care se activează atunci când se citește imaginea irisului. Imaginea luată în infraroșu redă mult mai fidel detaliile necesare recunoașterii, deoarece culoarea irisului nu este importantă pentru recunoaștere. De asemenea, în cazul irișilor puternic colorați (spre negru), captarea imaginii folosind lumina naturală ar putea duce la reducerea semnificativă a calității

detaliilor necesare unei recunoașteri cât mai exacte a imaginii irisului. De asemenea, trimiterea unui fascicul de lumină naturală sau – mai ales – artificială către iris poate duce la apariția de puncte albe de mari dimensiuni pe pupilă sau chiar pe iris, în acest fel reducându-se șansele unei recunoașteri corecte.

Pe lângă cameră, în pachet se mai găsește software-ul „PrivateID”, folosit pentru preluarea și recunoașterea imaginilor irisului.



Figura 3.2. Camera cu obiectiv pentru recunoaștere după iris (sus) și webcam (jos) Panasonic BM-ET100US

3.3. Începuturile cercetărilor referitoare la utilizarea irisului uman în vederea recunoașterii persoanelor

3.3.1. Patentul cercetătorilor Flom și Safir din 1987

În anul 1987 s-a realizat de către cercetătorii Leonard Flom și Aran Safir, patentul numărul 4641349 ([FLOM1]). Invenția 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 (acordat în anul 1978, care îl are ca autor pe Robert Hill), 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 amprente 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 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 pistrui, 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. Pistruii 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 străbătută pe toată suprafața de brazde radiale, care mai sunt numite șanțuri, și care permit modificarea dimensiunii irisului pentru a filtra cantitatea de lumină 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 permit 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.

3.3.2. Lucrarea de bază în identificarea matematică a persoanelor după iris – patentul cercetătorului britanic John Daugman din 1994

În anul 1994 a fost patentată lucrarea “Biometric personal identification system based on iris analysis” [DAUGM2], 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:

- Localizarea irisului este rezolvată folosind modelarea activă a conturilor;
- 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 3.2 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.

Nu se cunoștea, până la cercetările care au condus la descoperirea lui Daugman ([DAUGM1], [DAUGM2]) 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 dezvoltați 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.

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 3.3. 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 3.4 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 3.3). 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.

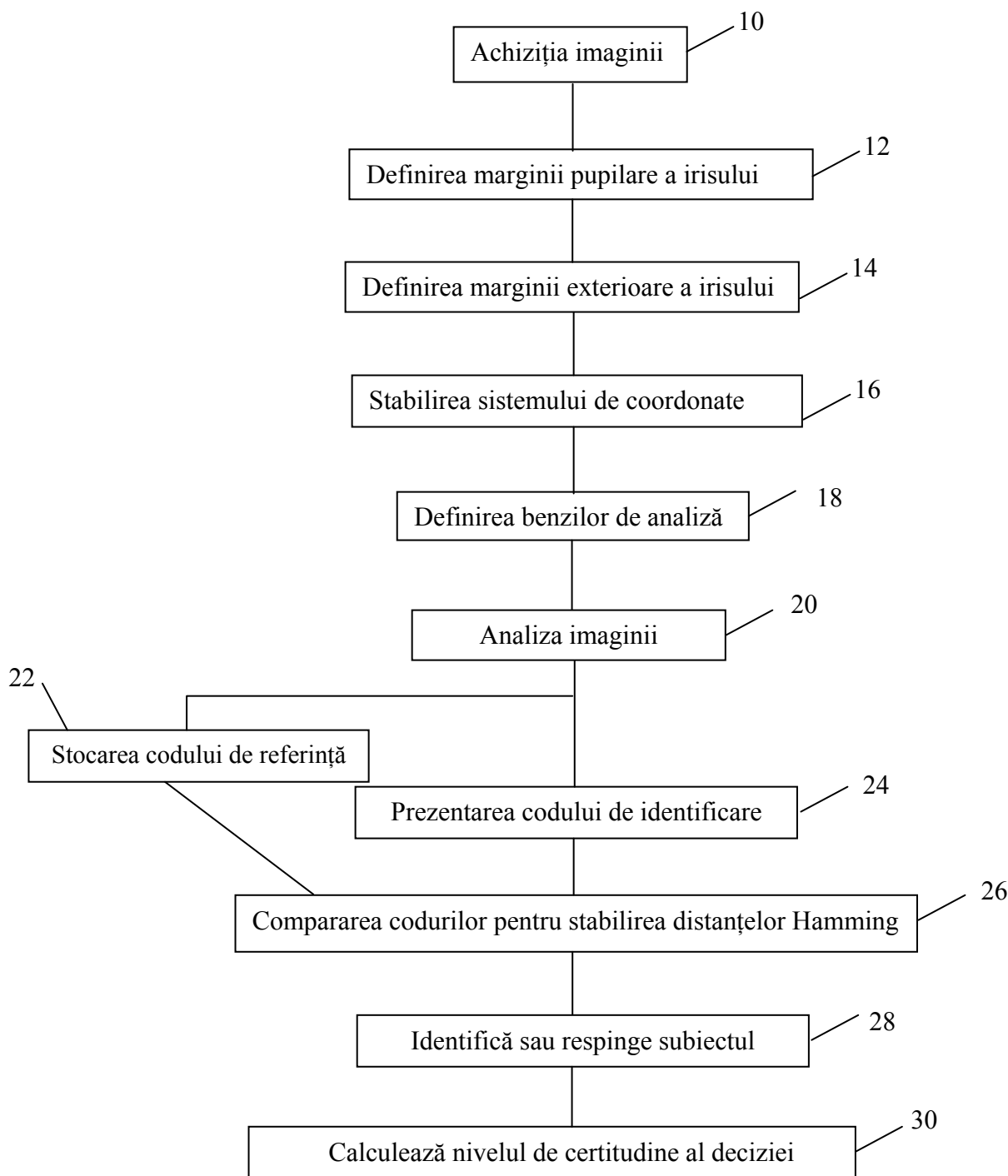


Figura 3.3. Schema logică a procesului de identificare a persoanelor pe baza codului iris ([DAUGM2])

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 3.4, 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 retina 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.

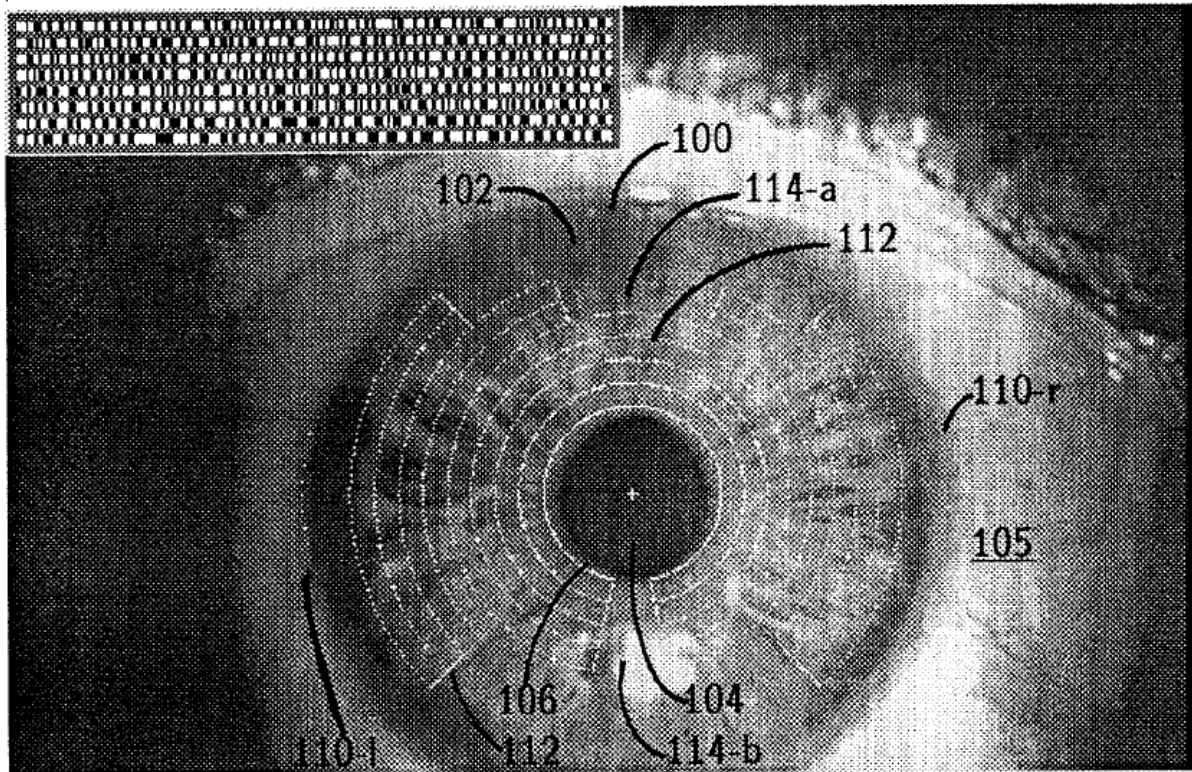


Figura 3.4. O fotografie a unui ochi uman, suprapus cu cercurile de segmentare ([DAUGM2])

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. 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 „tranzitie” 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).

Procedeul 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) [DAUGMAN, (1)] :

$$\max_{(r,x_0,y_0)} \left\| \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r,x_0,y_0} I(x,y) ds \right\| \quad (3.1)$$

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 „parcursarea pantei ascendente”. Dacă o serie posibilă de cercuri la care raza crește constant se află parțial în interiorul pupilei, valoarea cantității definite în ecuația (3.1) 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 (3.1 – [DAUGM2]) 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.

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 dreapta 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 (3.1), 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 horizontale 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 găsim 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 [DAUGM2, relația (2)] :

$$\max_{r \in [1.5r_0, 10r_0]} \frac{\partial}{\partial r} \int_{\rho=r-\delta}^{r+\delta} \frac{2}{\pi\delta r} \int_{\theta=\phi-\pi/8}^{\phi+\pi/8} I(\rho, \theta) \cdot \rho d\rho d\theta \quad (3.2)$$

unde r_0 este raza pupilei (calculată anterior), δ este o secțiune radială subțire (de obicei $0,1 \cdot r_0$), $I(\rho, \theta)$ 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 (3.2) a demonstrat un util delimitator unghiular orizontal pentru sectoarele de cerc, astfel încât să se ocolească pleoapele de sus și de jos. Rezultatele calculate din ecuația (3.2) sunt prezentate în figura 3.2 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 (3.1) 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 (3.2) găsește frontiera exterioară a irisului, numită și limb, unde sclerotica albă începe. Același proces al „cercurilor care explodează” ca și în ecuația (3.1) 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 explodânde” foarte mari, ceea ce ar putea face algoritmul descris de ecuația (3.1) să nu funcționeze.

Deci ecuația (3.2) 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 (3.2) 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 (3.1).

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 lărgesc 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 cosinusoidal 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 cornee 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 3.4.

În mod concret, porțiunea de iris care trebuie analizată este mapată și subdivizată în benzile de analiză 112 (vezi figura 3.4). 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 sclerotică 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 cosinusoidală 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 3.4 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 3.3. În comparație cu brevetul lui Flom ([FLOM1]), Daugman afirmă în patentul său ([DAUGM2]) 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 IrisCod (cod al irisului), neținând cont de gradul de dilatare al pupilei și de mărimea totală a imaginii irisului.

O strategie eficientă pentru extragerea informațiilor texturii pornind de la imagini, cum ar fi și structurile detaliate ale irisului, este reprezentată de o convoluție cu filtre „trece-bandă” în cuadratură, cum ar fi filtrele 2-D Gabor. Aceste filtre 2-D au fost propuse de J. Daugman în 1980 și 1985 ([DAUGM4], [DAUGM5], [DAUGM6]), ca rezultat al cercetării în vederea înțelegerii proprietăților câmpurilor receptive selective legate de orientare și frecvență, observate în cortexul vizual primar, precum și ca operatori utili pentru problemele practice de analiză a imaginii. Ca filtre optimale ele oferă o rezolvare în mod simultan pentru frecvența spațială și a informației legate de orientare, împreună cu poziția 2-D. Aceste proprietăți sunt în mod particular folositoare pentru analiza texturii, din cauza specificității spectrale 2D la fel ca și dependența pozițională a texturii.

Doi membri ai familiei filtrelor 2D Gabor sunt ilustrate în figura 3.5, ca profiluri de unde par-simetrice și impar-simetrice, împreună cu desenul lor de contur. În figură sunt prezentate filtre „trece-bandă” în cuadratură, care sunt folosite ca și nuclee de convoluție a imaginii pentru extragerea structurii irisului la diverse scări de analiză. Aceste funcții 2D legate și ondulate, definite la mai multe mărimi și poziții diferite, sunt multiplicare de către datele pixelilor imaginii naturale și integrate peste domeniul lor de suport pentru a genera coeficienți care descriu, extrag și codifică informația texturii imaginii. John Daugman a dat acestora numele de „filtre Gabor 2-D” deoarece sunt o generalizare 2-D a unei clase de funcții elementare discutate pentru o singură dimensiune de către Dennis Gabor în 1946 ([GABOR1]).

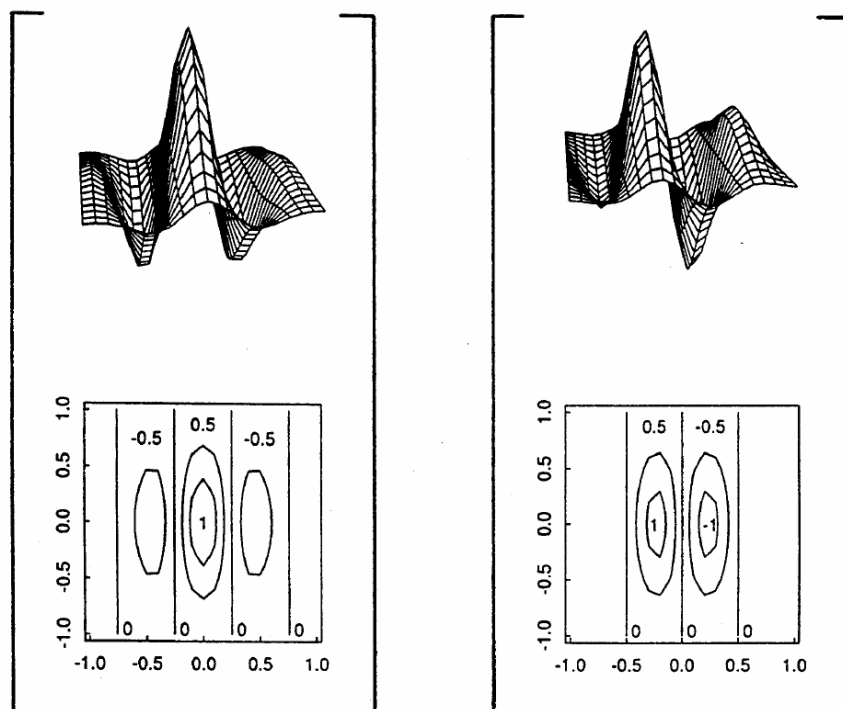


Figura 3.5. Filtre „trece-bandă” în cuadratură ([DAUGM2])

Filtrele 2D Gabor utilizate de Daugman sunt definite în coordonate polare în felul următor [DAUGM1, relația (3)] :

$$G(r, \theta) = e^{-2\pi i \omega(\theta - \theta_0)} \cdot e^{-(r - r_0)^2 / \alpha^2} \cdot e^{-(\theta - \theta_0)^2 / \beta^2} \quad (3.3)$$

unde r reprezintă raza ($r \in [0, 1]$), θ este distanța unghiulară în radiani ($\theta \in [0, 2\pi]$), ω este frecvența filtrului, iar α și β sunt constante.

Sunt folosiți atât membrii reali și cât și cei imaginari ai cuadraturii (par și impar-simetrice) ai perechii de filtre proiectate din funcția analitică anterioară. Parametrii liberi α și β co-variază în proporție inversă cu ω pentru a genera o familie simetrică multi-scalară de filtre în cuadratură selectivi de frecvență. Ei sunt în cuadratură deoarece amândouă fazele ortogonale sunt folosite la fiecare poziție. Sunt auto-similari deoarece proporționalitatea inversă a parametrilor lor de mărime și frecvență duce la o dilatare de la unul la altul, partajând o formă comună. Locațiile lor, specificate prin θ_0 și r_0 , variază în zonele de analiză ale irisului.

În figura 3.6 sunt prezentate o serie de grafice care arată modul în care imaginea irisului este convertită în biți ai codului irisului folosind filtrele „trece-bandă” în cuadratură.

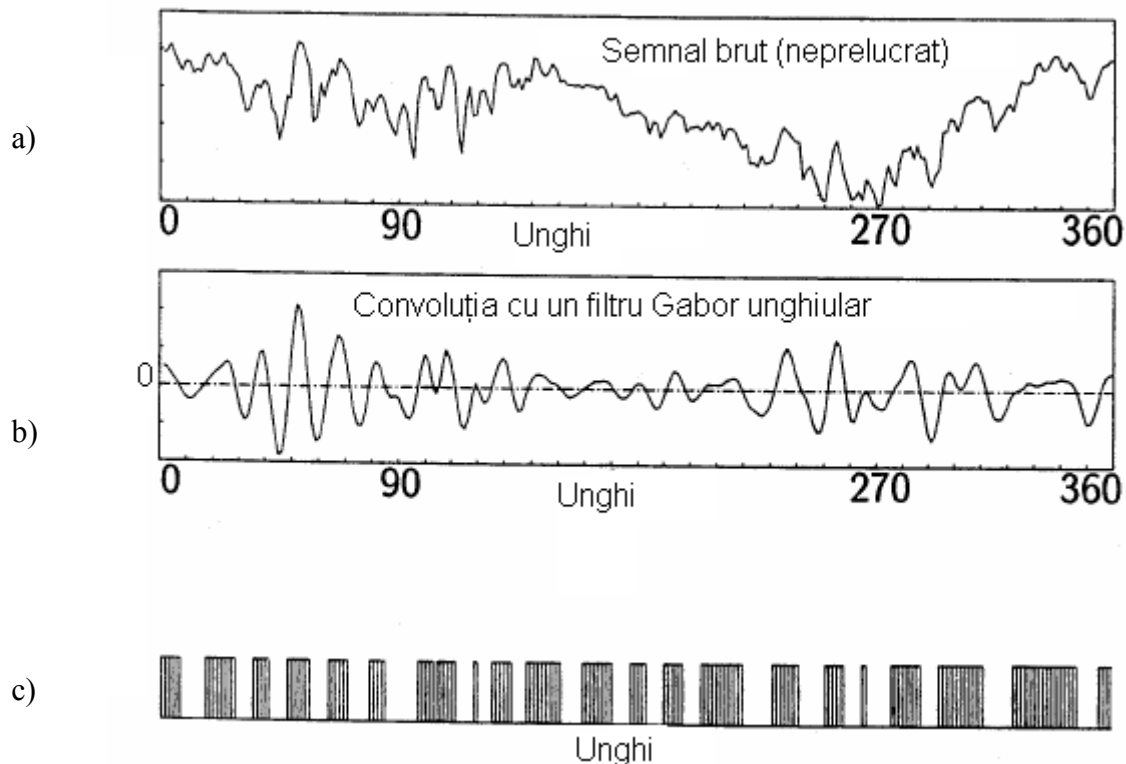


Figura 3.6. Convertirea imaginii în biți ai IrisCode-ului ([DAUGM2]), pentru o rază particulară

Maniera prin care un cod al irisului este generat prin trecerea filtrelor Gabor 2D peste iris, în coordonate polare, este ilustrată în figurile 3.6 (a), (b) și (c). Figura de sus (3.6 (a)) arată o scanare 1D în jurul irisului la o rază particulară, desenează luminescența imaginii unei funcții de coordonate unghiulare în jurul irisului (pentru simplitate, imaginea este reprezentată aici doar ca un semnal 1D în loc de 2D). A doua figură (3.6 (b)) arată răspunsul unui filtru Gabor cu o mărime și simetrie particulară, poziționat peste fiecare coordonată unghiulară corespunzătoare a irisului. Ar trebui notat faptul că, din cauza caracterului „trece-bandă” al filtrelor Gabor, răspunsul lor la semnalul de intrare neprelucrat (brut) poate fi ori pozitiv ori negativ, și este centrat în jurul lui zero. Modularea înceată, ne-informativă în luminescența semnalului brut, sus și jos în jurul irisului rezultând din luminescența de mai

înainte, este înlăturată de către filtrele Gabor de tip „trece-bandă”, după cum este și zgomotul de înaltă frecvență.

Fiecare bit din codul irisului este determinat de răspunsul la un filtru Gabor 2D, având mărime, simetrie și poziție precise. Răspunsul poate fi pozitiv sau negativ, funcție de aceasta stabilindu-se valoarea fiecărui bit. Acest proces este indicat în ecuația (3.4) ([DAUGM2]). Deoarece un „bit de semn” este codat, acesta corespunde MSB-ului (Most Significant Bit – Bitul cel mai semnificativ) coeficientului care rezultă din integrarea produsului dintre un filtru Gabor 2D cu imaginea de la intrare, după cum a fost descris anterior. Utilizarea atât a simetriilor pare și impare în cuadratură ale filtrelor Gabor 2D, extrăgând informații independente, este indicată prin indecșii Re și Im pentru biții determinați de părțile imaginare și reale corespunzătoare ale filtrelor Gabor 2D în formă complexă [DAUGM2, relațiile (4 - 7)] :

$$\begin{aligned}
 MSB_{\text{Re}}(r, \theta) &= \begin{cases} 1 & \text{dacă } \text{Re} \int_{\rho} \int_{\varphi} e^{-2\pi i \alpha (\theta - \theta_0)} e^{-(r-\rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta-\varphi)^2 / \beta^2} I(\rho, \varphi) \rho d\rho d\varphi > 0 \\ 0 & \text{dacă } \text{Re} \int_{\rho} \int_{\varphi} e^{-2\pi i \alpha (\theta - \theta_0)} e^{-(r-\rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta-\varphi)^2 / \beta^2} I(\rho, \varphi) \rho d\rho d\varphi \leq 0 \end{cases} \\
 MSB_{\text{Im}}(r, \theta) &= \begin{cases} 1 & \text{dacă } \text{Im} \int_{\rho} \int_{\varphi} e^{-2\pi i \alpha (\theta - \theta_0)} e^{-(r-\rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta-\varphi)^2 / \beta^2} I(\rho, \varphi) \rho d\rho d\varphi > 0 \\ 0 & \text{dacă } \text{Im} \int_{\rho} \int_{\varphi} e^{-2\pi i \alpha (\theta - \theta_0)} e^{-(r-\rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta-\varphi)^2 / \beta^2} I(\rho, \varphi) \rho d\rho d\varphi \leq 0 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Aceste ecuații condiționale determină fiecare din cei 2.048 biți dintr-un cod al irisului, pentru multiple scări de analiză (setate de parametrii α și β și de 107) și de-a lungul tuturor pozițiilor de eșantionare (setate de parametrii coordonatelor polar r și θ) în interiorul zonelor de analiză definite în imaginea irisului. Este important de reținut faptul că este obținută o compresie a cantității mari de date de la intrare într-un astfel de cod, din cauza naturii sale de necorelare. În timp ce imaginea originală a irisului este alcătuită din aproximativ 262,000 octeți (o matrice de 512×512 biți, fiecare bit necesitând un octet), textura de bază a irisului a fost redusă de către acest cod Gabor 2D la o semnătură foarte compactă cuprinzând doar 1/1000 din cantitatea totală (adică 256 octeți).

Un exemplu a codului irisului format din 256 octeți este prezentat în colțul din stânga sus a figurii 3.3, fiind organizat în 256 de coloane unghiulare, fiecare cu 8 biți calculați pe zonele concentrice de analiză. Cu toate că într-un cod dat sunt 2048 biți, un cod posedă mai puțin de 2048 grade de libertate binare independente. Principalul motiv al acestui lucru este faptul că există corelații radiale substanțiale într-un iris. De exemplu, o cută dată din iris tinde să se propage de-a lungul unei distanțe radiale importante, și în acest fel își exercită influența în câteva părți diferite ale codului. Corelațiile sunt introduse de proprietatea de „trece-jos” a filtrelor Gabor 2D, ceea ce reprezintă un al doilea motiv. În mod specific, orice semnal convoluționat cu un filtru liniar capătă o distanță de corelație egală cu echivalentul lărgimii de bandă a filtrului.

Numărul actual de grade de libertate independente poate fi estimat prin examinarea distribuției Hamming (fracțiuni din biții care nu coincid) de-a lungul unei mari populații de coduri de iris, comparând fiecare cod bit cu bit cu fiecare alt cod calculat de la un iris diferit. Din moment ce fiecare bit are probabilitatea egală de a fi 1 sau 0, există o probabilitate $p=0,5$ ca fiecare pereche de biți din coduri ale irisului diferite să nu fie identici. Dacă fiecare din cei 2048 biți dintr-un cod dat ar fi independent de ceilalți biți, atunci distribuția distanțelor Hamming observate ar trebui să fie echivalente cu o distribuție binomială cu $p=0.5$ și $N=2048$. Distribuția actuală a distanțelor Hamming observate între coduri de la iriși diferiți este arătată în figura 3.7.

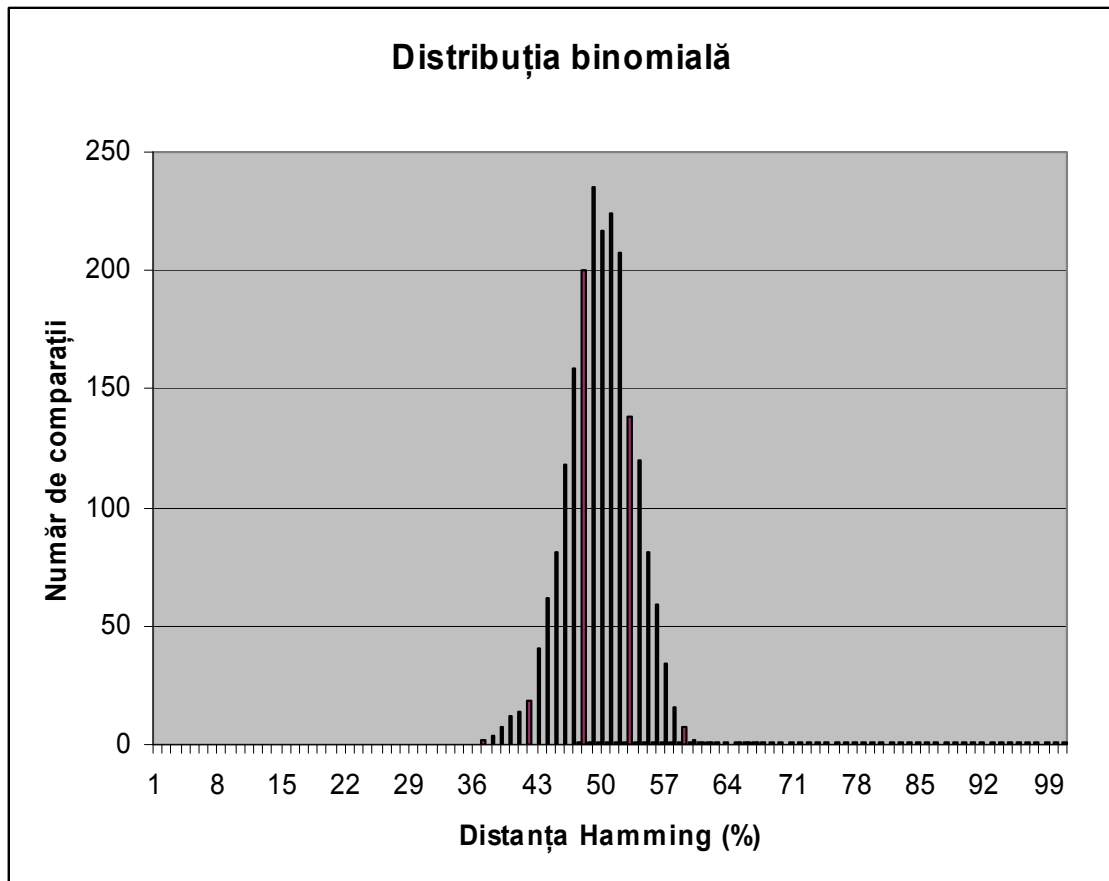


Figura 3.7. *Grafic al distanțelor Hamming pentru „impostori”, adică pentru comparații între coduri ale irisului calculate pentru iriși diferiți ([DAUGM2])*

Deviația standard este $\sigma=0.038$, în jurul unei medii de $\mu=0.497$. Din moment ce deviația standard a unei distribuții binomiale este dată de [DAUGM2]

$$\sigma = \sqrt{\frac{p \cdot q}{N}} \quad (3.5)$$

distribuția observată a distanțelor Hamming este echivalentă cu o distribuție binomială cu $N=173$ octeți; o potrivire actuală a unei astfel de distribuții binomiale observată la datele din codul irisului, și care poate fi văzută în figura 3.5 [DAUGM1, Fig.10], relevă o potrivire excelentă. Astfel, există doar aproximativ 173 de grade de libertate binare independente într-un cod de 2048 biți. Această estimată este comparată cu o a doua estimată, obținută prin aplicarea algoritmului de compresie Lempel-Ziv ([SAYO1]) codurilor irișilor. Această procedură generează coduri ale irisului care nu sunt corelate, având o lungime medie de 194 biți (aproximativ 24 octeți).

Utilizând estimarea binomială de $N=173$ grade de libertate binare ca o măsură a complexității sau mărimii dimensiunilor unui cod al irisului de 2048 biți, se poate calcula probabilitatea ca două coduri a doi iriși diferiți să coincidă din întâmplare. Din moment ce filtrele Gabor 2D nu au o eroare sistematică pozitivă sau negativă, în mod apriori șansele ca orice bit dat să fie 1 sau 0 sunt egale, și de aici probabilitatea este de 0.5 ca doi biți corespunzători din codul a doi iriși diferiți să fie identici. Descompunând în corelațiile parțiale din biții unui cod, dar ținând cont și de independența dintre coduri, posibilitățile ca doi iriși diferiți să genereze același cod este de $1:2^{173}$, adică egal cu $1:10^{52}$.

Procesul de comparare a codurilor a doi iriși (figura 3.3, blocul 26), cum ar fi unul memorat anterior (blocul 22) și unul care este calculat de la o imagine prezentată camerei de luat vederi (blocul 24), este foarte simplu din cauza formatului universal și a lungimii fixe a tuturor acestor coduri. O metrică de similaritate, numită distanță Hamming, este calculată, ea măsurând „distanța” sau similaritatea dintre două coduri. Această măsură adună pur și simplu numărul total de apariții a doi biți care diferă din două coduri provenite de la iriși diferiți. Exprimată ca o fracțiune între 0 și 1, distanța Hamming între orice cod al irisului și o copie exactă a sa va fi cu siguranță 0, din moment ce toți cele 2048 de perechi de biți sunt identice. Distanța Hamming dintre orice cod al irisului și complementul său (caz în care fiecare bit este inversat) va fi 1. Distanța Hamming din două șiruri independente de biți generate aleatoriu se așteaptă să fie 0.5, din moment ce fiecare pereche de biți corespunzătoare au o posibilitate de 50% să fie aceeași și tot 50% să difere. Astfel, dacă două coduri ale irisului provin de la doi iriși diferiți, distanța lor Hamming se așteaptă să fie 0,5; dacă provin de la același ochi, în ocazii diferite, distanța Hamming dintre ei trebuie să fie considerabil mai mică. Dacă amândouă coduri ale irisului au fost calculate din aceeași fotografie, distanța Hamming trebuie să se apropie de zero.

Comparațiile dintre codurile irișilor poate fi făcută cu câteva deplasări relative diferite de-a lungul axei unghiulare, pentru a compensa posibila mișcare a capului subiectului sau rotația de torsiune a ochilor. Aceste deplasări relative ce apar în compararea codurilor sunt ușor de implementat prin deplasarea în spirală laterală a codului irișilor relativ unul la celălalt, ca și în cazul codului irisului prezentat în figura 3.4 care poate fi înfășurat într-un cilindru, atingând marginile din dreapta și stânga, iar apoi rotindu-se cilindrul și repetând procesul de comparare.

Calcularea distanțelor Hamming dintre coduri este făcută foarte simplu prin utilizarea operatorului logic elementar XOR (eXclusive OR). O pereche de doi biți A și B pot avea exact patru combinații posibile: $(AB) = (00), (01), (10)$ și (11) . Operatorul XOR aplicat celor două intrări de mai sus este definit ca 1 dacă doar una dintre intrări este 1; altfel XOR-ul are valoarea 0. Astfel, în exemplul dat mai sus, pentru cele patru combinații posibile ale valorilor lui A și B, valorile corespunzătoare pentru XOR-ul lor este: $(A \text{ XOR } B) = 0, 1, 1, 0$. În mod clar, XOR-ul poate fi folosit astfel pentru detectarea neconcordanțelor dintre oricare două perechi de biți, oricare ar fi valorile lor.

Măsurarea distanței Hamming se face prin însumarea numărului de apariții al valorii 1 în operația de „sau exclusiv” dintre doi iriși, iar apoi această valoare se divide prin numărul total de comparații (care este egal cu numărul de biți ai codului). În mod alternativ, această cantitate poate fi de altfel descrisă ca lungimea pătratică normalizată, sau normă pătratică, a vectorului diferență între cele două coduri ale irisului într-un spațiu binar 2048-dimensional. Toate aceste formulări generează aceeași metrică pentru comparațiile de coduri de iris și duc la o imediată conversie într-o probabilitate calculată a faptului că două imagini provin de la același iris, și chiar de la aceeași persoană.

Problema recunoașterii semnăturii unui iris dat ca aparținând unui individ anume, sau luarea deciziei dacă el/ea sunt impostori, poate fi formulată în cadrul unei teorii statistice de recunoaștere a formelor și decizie.

Deciziile Da/Nu în recunoașterea formelor au patru rezultate:

- fie o formă dată este sau nu este o instanță adevărată a categoriei luate în calcul;
- pentru fiecare dintre aceste două cazuri, decizia făcută poate fi corectă sau incorectă.

Aceste patru posibilități sunt denumite în mod curent Succes, Eșec, Alarmă falsă și Respingere corectă. Pentru problema recunoașterii persoanelor după iris, cele patru posibilități sunt:

- AA – acceptarea persoanei autentice
- IA – acceptarea unui impostor
- AR – respingerea unei persoane autentice
- IR – respingerea impostorilor

Scopul acestui algoritm, care ia decizii, este de a maximiza probabilitățile AA și IR, în același timp minimizând probabilitățile IA și AR.

O formulare pentru „decizia sub incertitudine” este prezentată în figura 3.8 [DAUGM1, Fig.6]. O măsurătoare dată a distanței Hamming sau o fracțiune a neconcordanței biților între două coduri ale irisului, constituie un punct de pe abscisă. Măsura este privită ca fiind o variabilă aleatoare descriind unul din cele două procese, reprezentate de două distribuții de probabilitate care se suprapun. Nu se cunoaște în mod apriori care dintre aceste două distribuții descrie variabila aleatoare; scopul este să se găsească distribuția corespunzătoare. Este ales un criteriu, după cum este indicat de către linia verticală punctată din figura 3.8, iar toate distanțele Hamming mai mici decât acest criteriu sunt considerate ca aparținând distribuțiilor „autentice”, în timp ce toate distanțele Hamming mai mari decât acest criteriu sunt judecate ca aparținând distribuției „impostorilor”. Aceste două distribuții, $P_{Au}(H)$ și $P_{Imp}(H)$, dau densitatea de probabilitate a unei distanțe Hamming particulare măsurate, rezultată din două comparații dintre același iris (unul „autentic”) sau din două comparații de iriși diferiți (unul „impostor”), respectiv.

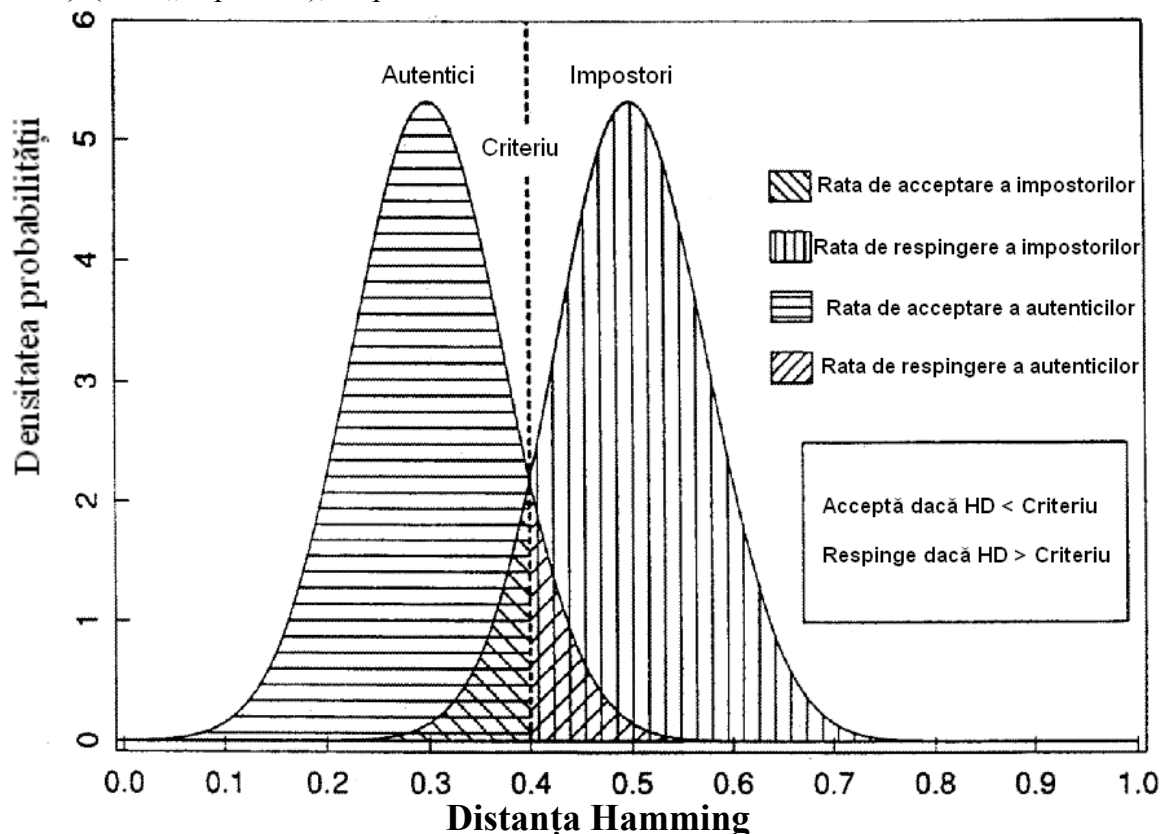


Figura 3.8. Formularea teoriei deciziei statistice ([DAUGM2])

Cele patru posibilități AA, IA, AR și IR au în acest moment probabilități care sunt în totalitate definite de către criteriul ales și de către parametrii statistici ale celor două distribuții care se suprapun. Dacă regulile de decizie sunt:

- Acceptă dacă distanța Hamming < Criteriu
- Respinge dacă distanța Hamming > Criteriu

atunci probabilitățile celor patru posibilități sunt egale cu suprafețele de sub cele două funcții de densitate probabilistică, $P_{Au}(H)$ și $P_{Imp}(H)$, de fiecare parte a criteriului ales, C [DAUGM1, relațiile (8 - 11)]:

$$\begin{aligned} P(AA) &= \int_0^C P_{Au}(H) dH \\ P(AR) &= \int_C^1 P_{Au}(H) dH \\ P(IA) &= \int_0^C P_{Imp}(H) dH \\ P(IR) &= \int_C^1 P_{Imp}(H) dH \end{aligned} \quad (3.6)$$

Aceste patru posibilități sunt reprezentate prin zonele hașurate diferit din figura 3.8 [DAUGM1, Fig.6].

Este clar faptul că cele patru posibilități separate în două perechi care adunate trebuie să dea valoarea 1, și două perechi care sunt guvernate de inegalitățile următoare [DAUGM1, RELATIILE (12 - 15)]:

$$\begin{aligned} P(AA)+P(AR) &= 1 \\ P(IA)+P(IR) &= 1 \\ P(AA) &> P(IA) \\ P(IR) &> P(AR) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Este de asemenea clar faptul că cele două rate de erori, $P(AR)$ și $P(IR)$, vor fi minimizate dacă distribuțiile celor două distanțe Hamming $P_{Au}(H)$ și $P_{Imp}(H)$ vor avea o suprapunere minimă. Acest lucru se poate obține fie prin forțarea mediilor lor cât mai departe sau prin reducerea varianțelor lor, fie amândouă. Trebuie notat faptul că cele două distribuții în general nu vor avea aceeași formă și varianță, după cum se arată – pentru simplificare – în figura 3.6.

Utilitatea, sau puterea de identificare, a unei metode de semnături biometrice utilizată pentru distingerea între indivizi sau recunoașterea acestora poate fi definită în termenii cantității de suprapunere dintre cele două distribuții. Mai clar, dacă nu există nicio suprapunere, ar fi posibil să se ia decizii corecte în proporții de 100% în orice situație, lucru care este ideal și deci – de neatins. Dimpotrivă, cu cât suprapunerea este mai mare, cu atât va fi mai mare proporția erorilor, indiferent de criteriul de decizie folosit.

3.3.3. *Lucrarea cercetătorului Richard Wildes, din 1997*

În acest an apare lucrarea : Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology, autor Richard P. Wildes [WILDES1].

Principalele contribuții ale acestui articol sunt:

- Localizarea irisului este rezolvată folosind transformata Hough;
- În privința reprezentării, Wildes face uz de o aplicație a filtrelor gaussiene.

Principalele obiective ale acestui articol sunt legate de localizarea irisului utilizând transformata Hough, iar în privința reprezentării codului iris, Wildes face uz de o aplicație a filtrelor gaussiene.

Pentru a ilustra această problemă, se va face referire în continuare la sistemele *Daugman* și *Wildes et al.* de localizare a irisului. Ambele sisteme folosesc derivate primare de intensitate a imaginii pentru a semnaliza localizarea zonelor de graniță ce corespund

marginilor irisului. Acest lucru este posibil datorită faptului că dimesiunile imaginii capturate vor reda un maxim local în funcție de modificările locale ale intensității imaginii. De asemenea, prin ambele sisteme zonele care incadrează irisul sunt redade prin tipare simple, geometrice. De exemplu, ambele sisteme redau pupila și limbusul printr-un contur circular. În mod similar, sistemul *Wildes et al.* modelează pleoapele superioară și inferioară prin arce parabolice, iar sistemul Daugman pur și simplu exclude porțiunile superioară și inferioară a imaginii unde poate să apară ocluzia pleoapei. În ambele sisteme, configurarea așteptată a componentelor modelului este folosită pentru a regla informația derivativă despre intensitatea imaginii.

În caz particular, pentru zona limbică, derivatele sunt filtrate pentru a fi selective cu marginile verticale. Această selectivitate direcțională este motivată de faptul că, chiar și în cazul pleopelor care blochează imaginea, părțile din stânga și dreapta zonei limbice trebuie să fie vizibile și orientate pe verticală (în cazul în care capul este într-o poziție verticală). În mod similar, derivatele sunt filtrate pentru a fi selective cu informația de pe orizontală în momentul în care sunt localizate marginile pleopelor. În contrast, pentru ca întreaga zona pupilară (în mare de formă circulară) trebuie să fie prezentă în imagine, informația derivativă este folosită într-o manieră mai isotropică pentru localizarea acestei structuri. Pusă în practică, aceasta modulară a informației imaginii s-a dovedit critică pentru acuratețea localizării. De exemplu, fără o asemenea modulară, FITS poate fi dus în eroare de structuri de imagine concurente (pleoapele care interferează cu localizarea limbică, etc.). Cele două sisteme diferă prin modul fiecăruia de căutare, de încercarea de a alege spațiile parametric astfel încât modele de contur să se potrivească cu informația imaginii. Pentru a înțelege cum se desfășoare aceste căutări, să spunem că $I(x, y)$ reprezintă valoarea de intensitate a imaginii la locația (x, y) , iar contururile circulare (pentru zonele pupilare și limbice) să fie parametrizate în funcție de locația centrului (x_c, y_c) și a razei r . Sistemul Daugman potrivește contururile circulare prin ascensiunea gradientă a parametrilor (x_c, y_c, r) până la un maxim $\left| \frac{\partial}{\partial r} G(r) * \oint_{r, x_c, y_c} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|$ (3.8) unde

$$G(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-((r-r_0)^2/2\sigma^2)} \quad (3.9)$$

este o rază gaussiană cu un centru r_0 și o deviație standard σ care atenuază dimensiunile spațiale ale marginilor luate în considerare, * simbolizează convoluția, ds este un element al arcului circular, iar împărțirea la $2\pi r$ este necesară pentru normalizarea integralei. Pentru a incorpora ajustarea direcțională a derivatei de imagine, atunci când se ajustează limita limbică, arcul de integrare ds este restricționat la cadranele din stânga și din dreapta (de exemplu, aproape de limitele verticale). Pentru ajustarea limitei pupilare, acest arc este luat în considerare dintr-o arie mai variată; oricum, cadrantul de jos al imaginii încă nu este luat în calcul, datorită artefactului reflecției speculare al corpului care luminează din acea regiune. În implementare, procedura de ajustare a conturului este discretizată, cu diferențe finite ce servesc derivatelor și sumelor folosite pentru a exemplifica integrale și convoluții. Vorbind mai general, ajustarea conturilor imaginilor prin intermediul acestui tip de formulă de optimizare este reprezentată de tehnica mașinilor standard de percepție vizuală, deseori denumită și de modelarea activă a conturilor (vezi de exemplu, [KASS1] și [YUILLE1]).

Sistemul Wildes et al. operează ajustarea conturilor în doi pași. În primul rând, informația despre intensitatea imaginii este convertită într-o hartă binară a marginilor. În al doilea rând, punctele de margine reprezintă valori particulare ale parametrilor de contur. Harta marginilor este obținută prin detectarea marginilor gradientului [BALLARD1], [PRATT1]. Aceasta operație constă în mărghinirea magnitudinii gradientului de intensitate a imaginii, de

$$\text{exemplu, } |\nabla G(x, y) * I(x, y)| \quad (3.10), \quad \text{unde } \nabla \equiv \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right) \quad (3.11), \quad \text{în timp ce } G =$$

$\frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}{2\sigma^2}}$ (3.12) este un gaussian bidimensional cu centru (x_0, y_0) și deviația standard σ care ajustează imaginea pentru a selecta dimensiunile spațiale ale marginilor luate în considerare.

Pentru a putea încorpora reglarea direcțională, derivatele intensității imaginii sunt influențate - modificate pentru a favoriza anumite intervale de orientare înainte de a prelua dimensiunile. De exemplu, înainte de potrivirea conturului marginii limbice, derivatele sunt influențate astfel încât să fie sensibile la marginile verticale. Procedura de alegere este implementată folosind transformatele Hough pe definițiile parametrice ale marginii conturilor irisului. Într-un caz particular, pentru marginile pupilei și pentru un set de puncte marginale (x_j, y_j) , $j=1 \dots n$, este definită o transformată Hough:

$$H(x_c, y_c, r) = \sum_{j=1}^n h(x_j, y_j, x_c, y_c, r) \quad (3.13)$$

unde

$$h(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = \begin{cases} 1, & \text{dacă } g(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = 0 \\ 0 & \text{altfel} \end{cases} \quad (3.14)$$

cu

$$g(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = (x_j - x_c)^2 + (y_j - y_c)^2 \quad (3.15)$$

pentru fiecare punct de margine (x_j, y_j) , $g(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = 0$, pentru fiecare parametru triplu (x_r, y_c, r) care reprezintă un cerc ce trece prin acel punct. În mod asemănător, parametrul triplu ce maximizează funcția H este comun celor mai multe puncte de margine și va fi ales pentru a reprezenta conturul de interes. În implementare, setul de parametrii maximizatori este calculat prin construirea funcției $H(x_r, y_c, r)$ ca un tabel ce este indexat după valorile discrete x_r, y_c și r . Odată creat, tabelul este scanat după tripla cu cea mai mare valoare. Contururile pentru pleoapele de sus și de jos sunt construite în mod similar folosind arce parabolice parametrizate $g(x_j, y_j, x_r, y_c, r)$. La fel cum sistemul Daugman se bazează pe tehnici standard de localizare a irisului, detectarea marginilor urmată de o transformată Hough este o tehnică vizionară de identificare a conturilor în imagini [BALLARD1], [PRATT1].

Ambele abordări de localizarea a irisului s-au dovedit a fi de succes în aplicații. Încercările bazate pe histograme trebuie să evite problemele legate de minimele locale pe care le-ar putea avea procedura de scădere gradientă a conturului modelului.

Dar, operând în mod direct cu derivatele imaginii, modelul bazat pe conturul activ evită inevitabilele praguri/limite din generarea unei hărți binare a marginilor. Mai mult, modelarea explicită a pleoapelor (asemănător sistemului Wildes) ar trebui să permită o mai bună folosire a informației prin simpla omitere a marginilor de sus și de jos a imaginii. Dar, această câștig de precizie vine cu costuri de calcul crescute. În mod general, ambele modele sunt predispușe să întâmpine dificultăți dacă vor trebui să lucreze cu imagini ce conțin suprafețe mai mari de față și nu numai ochiul, și suprafața imediat adiacentă ochiului. De exemplu, aceste tipuri de imagini sunt predispușe la artificii ale sistemului de achiziție a imaginii ce necesită o mai mică implicare/participare a operatorului uman. În acest caz, „dezordinea” din imagine poate duce acest model de filtru relativ simplu la rezultate slabe. Soluția pentru această situație, cel mai probabil va presupune o procedură de pre-localizare a ochiului. În orice caz, după localizarea reușită a irisului, porțiunea din imaginea capturată care corespunde irisului poate fi delimitată. Figura 3.9 furnizează un exemplu de rezultat al localizării irisului, realizată prin sistemul Wildes et al.

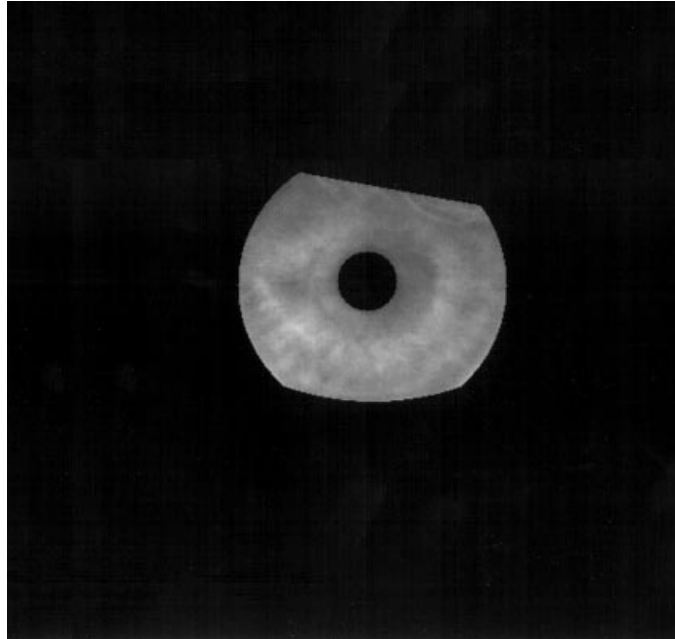


Figura 3.9. Localizare iris prin sistemul lui Wildes [WILDESI]

Potrivirea de modele

Odată localizată zona care conține o imagine achiziționată care corespunde irisului, ultima decizie luată este dacă această formă este similară modelului de iris existent deja. Această chestiune de potrivire de model poate fi descompus în patru părți

- 1) Alinierea spațială a noului model de iris cu un model deja existent în baza de date.
- 2) Alegerea unei reprezentări pentru cele două modele alineate care evidențiază forma lor unică.
- 3) Evaluarea calității acestei alinieri dintre forma nou achiziționată și cea existentă în baza de date;
- 4) Deciderea dacă noile date achiziționate și cele existente în baza de date sunt derivate de la același iris în funcție de cât de bine se potrivesc.

1) Aliniere: Pentru a face o comparație detaliată între două imagini, este avantajos să se stabilească o corespondență exactă între structurile caracteristice din întreaga pereche. Ambele sisteme în discuție compensează pentru schimbarea, scalarea și rotația de imagini. Având în vedere capacitatea sistemelor de a ajuta operatorii printr-un proces de auto-poziționare exactă, acestea aduc grade cheie de libertate care au nevoie de compensație. Schimbările explică ofseturile ochiului în planurile paralele cu matricele de sensori ai camerei. Rotația explică devierea în poziție unghiulară a axei optice. Nominal, dilatarea pupilei nu este o problemă critică pentru sistemele actuale, deoarece iluminarea lor constant controlată ar trebui să fixeze pupila unui individ la aceeași dimensiune în timpul studiilor (restricționare, boli, etc). Pentru ambele sisteme, localizarea irisului este realizată prin izolarea irisului într-o imagine achiziționată mai mare și, prin urmare, realizează în esență, alinierea prin schimbul de imagine. Sistemul Daugman utilizează scalarea radială pentru a compensa pentru dimensiunea globală, precum și un model simplu de variație a pupilei pe baza unei mărimi liniare. Această scalare servește la cartografierea coordonatelor carteziene ale imaginii (x,y) în funcție de coordonatele unei imagini polare adimensionale (r, θ) în conformitate cu

$$\begin{aligned} x(r,\theta) &= (1 - r)x_p(\theta) + x_I(\theta) \\ y(r, \theta) &= (1 - r)y_p(\theta) + y_I(\theta) \end{aligned} \quad (3.16)$$

unde r este în intervalul $[0,1]$ și θ este cuprins între $[0, 2\pi]$, în timp ce $(x_p(\theta), y_p(\theta))$ și $(x_l(\theta), y_l(\theta))$ sunt coordonatele limitelor pupilare și limbice în direcția θ . Rotația este compensată prin schimbarea explicită a reprezentării irisului în θ cu diferite grade în timpul procesului de potrivire a imaginilor.

Sistemul Wildes et all folosește o tehnică de înregistrare a imaginii pentru a compensa atât pentru scalare, cât și pentru rotație. Prin această procedură imaginea nou achiziționată $I_a(x,y)$ este alineată cu o imagine selectată din baza de date $I_d(x,y)$ conform unei funcții de cartografiere $(u(x,y), v(x,y))$ în așa fel încât pentru toate (x,y) valoarea intensității imaginii $(x, y)-(u(x,y), v(x,y))$ din I_a este mai aproape de cea din I_d . Mai exact, funcția de cartografiere (mapping) (u,v) trebuie să minimalizeze

$$\iint_{x,y} (I_a(x,y) - I_d(x-u, y-v))^2 dx dy \quad (3.17)$$

în timp ce este este constrâns să captureze o transformare similară a coordonatelor imaginii, de la (x,y) la (x',y') , de exemplu

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - sR(\varphi) \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (3.18)$$

cu s factorul de scalare și $R(\varphi)$ o matrice reprezentând rotația cu φ . În implementare, având dată o pereche de imagini ale irisului I_a și I_d , parametrii de potrivire s și φ sunt recuperați prin intermediul unei proceduri de minimalizare iterativă [BERGEN1].

Asemănător cu marea parte a procesărilor pe care le efectuează sistemele de recunoaștere a irisului, metodele pentru stabilirea de corespondențe dintre imaginile de iris achiziționate și cele din baze de date par să fie potrivite pentru scenariii controlate de evaluare. Încă o dată, totuși, metode mai sofisticate se pot dovedi necesare în scenariii mai relaxate. De exemplu, un model simplu liniar de dilatare a pupilei nu surprinde natura fizică complexă a acestui proces, de exemplu, forma vaselor de sânge și curbarea fibrelor stromale. În mod similar, compensații globale geometrice mai complicate vor fi necesare dacă denaturarea completă a perspectivei (de exemplu, bătaie scurtă) devine semnificativă.

2) Reprezentarea: Caracteristicile spațiale distinctive ale irisului uman se manifestă într-o varietate de moduri. De exemplu, a distinge o gamă de structuri din forma generală a irisului, precum goluri mici și structuri detaliate. Pentru a captura această gamă de detalii spațiale, este avantajoasă utilizarea unei reprezentări multigradate. Ambele sisteme de recunoaștere a irisului luate aici în discuție folosesc descompunerea pe bandă a imaginilor pentru a se folosi de informația multiscalară. Sistemul Daugman utilizează o descompunere provenită din aplicarea unei versiuni bi-dimensionale de filtre Gabor [GABOR1] la datele de imagine. Deoarece sistemul Daugman (se) transformă în coordonate polare în timpul alinierii, este convenabil ca filtrele să fie date într-o formă corespunzătoare precum

$$H(r,\theta) = e^{-iw(\theta-\theta_0)} e^{-(r-r_0)/\alpha^2} e^{-i((\theta-\theta_0))^2/\beta^2} \quad (3.19)$$

unde α și β covariază invers proporțional cu w pentru a genera un set de perechi cuadractice de filtre de selecție cu locația centrelor indicată de (r_0, θ_0) . Aceste filtre sunt deosebit de notabile pentru capacitatea lor de a atinge localizări comune bune în ceea ce privește spațiul și frecvența. În plus, datorită naturii lor cuadractice, aceste filtre pot capta informații cu privire la faza locală. Urmând descompunerea Gabor, sistemul Daugman compresează reprezentările sale prin cuantificarea unghiului de faza locală, în funcție de valoarea pozitivă sau negativă a datelor de ieșire a filtrelor reale $R(\cdot)$, și imaginare $S(\cdot)$. Pentru un filtru cu parametrii lungimii de bandă α , β și w , și o locație (r_0, θ_0) , o pereche de biți (h_R, h_S) este generată după modelul:

$$h_R = 1 \text{ dacă } R\left(\int_{\rho} \int_{\psi} e^{-iw(\theta_0-\psi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-i(\theta_0-\psi)^2/\beta^2} I(\rho,\psi) \rho d\rho d\psi\right) \geq 0$$

$$\begin{aligned}
h_R=0 \text{ dacă } R\left(\int_{\rho} \int_{\psi} e^{-iw(\theta_0-\psi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\sigma^2} e^{-i(\theta_0-\psi)^2/\beta^2} I(\rho, \psi) \rho d\rho d\psi\right) < 0 \\
h_S=1 \text{ dacă } S\left(\int_{\rho} \int_{\psi} e^{-iw(\theta_0-\psi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\sigma^2} e^{-i(\theta_0-\psi)^2/\beta^2} I(\rho, \psi) \rho d\rho d\psi\right) \geq 0 \\
h_S=0 \text{ dacă } S\left(\int_{\rho} \int_{\psi} e^{-iw(\theta_0-\psi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\sigma^2} e^{-i(\theta_0-\psi)^2/\beta^2} I(\rho, \psi) \rho d\rho d\psi\right) < 0
\end{aligned} \tag{3.20}$$

Parametrii r_0 , θ_0 , α , β , și w au valori în așa fel încât să genereze o reprezentare de 256 bytes care servește ca bază pentru procesări ulterioare. La implementare, filtrarea Gabor se efectuează prin intermediul unui algoritm de relaxare [DAUGM6], cu cuantificarea informației din faza de recuperare, obținându-se reprezentarea finală. Sistemul Wildes et al. utilizează o descompunere bazată pe o lățime de bandă (band-pass) izotropă provenită din aplicarea Laplacianului filtrelor Gaussiene [HORN1], [JAHNE1] la datele de imagine. Aceste filtre pot fi specificate ca

$$-\frac{1}{\pi\sigma^2} \left(1 - \frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right) e^{-\rho^2/2\sigma^2} \tag{3.21}$$

cu σ fiind devierea standard a Gaussianului și ρ disanța radială a unui punct de centrul filtrului. În practică, imaginea filtrată este formată ca o piramidă laplaciană [BURT1], [JAHNE1]. Această reprezentare este definită procedural în termenii unei cascade de mici filtre Gausiene. În mod particular, să spunem că $w=[1 \ 4 \ 6 \ 4 \ 1]/16$ este o mască unidimensională, iar $W= w^T w$ este o mască bidimensională rezultată din protrivirea produsului exterior cu el însuși. Luând o imagine de interes I , construirea piramidei Laplaciene începe cu convoluția lui I cu W în așa fel încât să rezulte un set de imagini cu filtru low-pass g_k în funcție de

$$g_k=(W * g_{k-1})_{\downarrow 2} \tag{3.22}$$

cu $g_0=I$ și $(\cdot)_{\downarrow 2}$ simbolizând reducerea ratei de eșantionare cu 2 în fiecare dimensiune a imaginii. Nivelul k al piramidei Laplaciene l_k ia forma unei diferențe dintre g_k și g_{k+1} , cu g_{k+1} extins înainte de scădere în așa fel încât să se potrivească ratei de sampling cu g_k . Extinderea se realizează prin creșterea ratei de sampling (upsampling) și interpolarea

$$l_k=g_k-4W*(g_k)_{\uparrow 2} \tag{3.23}$$

unde $(\cdot)_{\uparrow 2}$ indică creșterea ratei de eșantionare cu un factor de 2 prin intermediul inserției unui rând și a unei coloane de zero după fiecare rând și coloană din imaginea principală. Nucleul generat este folosit ca un filtru de interpolare, iar factorul de 4 este necesar pentru că $3/4$ din imagine este reprezentată de șirurile de 0 inserate. Piramida Laplaciană rezultată, construită cu 4 nivele, servește ca bază pentru procesări ulterioare. Diferența Gaussianului care o presupune această reprezentare generează o bună aproximare a Laplacianului la filtrarea Gaussiană [MARR1]. În plus, aceasta este importantă pentru o depozitare și prelucrare eficiente, pentru că benzile de frecvență mai joasă sunt reduse succesiv fără pierderi de informații dincolo de cele introduse de filtre. La punerea în aplicare, construirea piramidei Laplaciene urmează într-un mod simplu definiția sa procedurală. Prin cuantificarea rezultatelor sale de filtrare, abordarea reprezentățională folosită în sistemul Daugman generează o reprezentare remarcabil de parcimonioasă a irisului. Într-adevăr, o reprezentare de 256 bytes poate fi imprimată pe banda magnetică de pe spatele cardurilor de credit [BRIGHT1]. În mod contrar, reprezentarea Wildes et al. este direct derivată din imaginea filtrată pentru numărul de bytes din zona irisului din imaginea capturată inițial. Oricum, prin reținerea a mai multor informații disponibile despre iris, sistemul Wildes et al. poate fi capabil de diferențieri mai fine între iriși diferiți. Deoarece la ora actuală lipsesc studii pe scară largă despre recunoașterea irisului, este prea devreme să spunem exact câtă informație este necesară pentru o discriminare adecvată în fața mostrelor adecvate oferite de populația umană. În orice caz, derivându-și reprezentările prin filtrare bandpass, ambele

abordări valorifică structura multiscalară a irisului. Pentru exemplificare, figura 3.10 (figura 7 [WILDES1]) arată un exemplu de reprezentare multiscalară a unui iris – așa cum a fost recuperată prin sistemul Wildes.

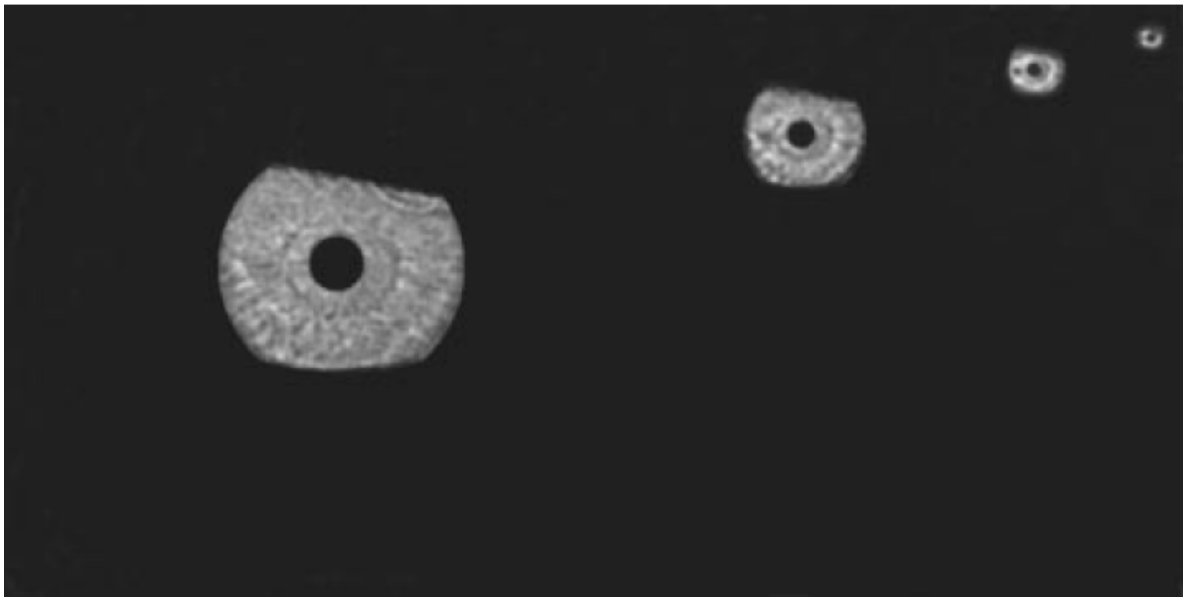


Figura 3.10. *Reprezentarea multiscalară a unui iris*

3. Calitatea gradului de potrivire: Având în vedere achizițiile controlate de imagine ale sistemului și abilitățile de aliniere perfectă între intrările dintre bazele de date și informația nou achiziționată, o metrică de potrivire se poate baza pe comparații punctuale între primitivele din reprezentările corespondente. Sistemul Daugman cuantifică această problemă prin calcularea procentului de biți nepotriviți între o pereche de reprezentări ale irisului, și anume, distanța Hamming normalizată [JAYANT1]. Luând A și B ca două reprezentări ale irisului care trebuie comparate, această cantitate poate fi calculată ca

$$\frac{1}{2048} \sum_{j=1}^{2048} A_j \oplus B_j \quad (3.24)$$

cu indicele j fiind poziția bitului de indexare și O descriind operatorul OR exclusiv. (OR exclusiv este un operator boolean care este egal cu 1 dacă și numai dacă Aj și Bj sunt diferiți). Rezultatul acestui calcul este apoi utilizat ca grad de potrivire, cu valorile mai mici indicând o potrivire mai bună. OR exclusiv al biților corespondenți reprezentărilor irisului achiziționat și al celui din baza de date poate fi calculat cu costuri de calcul neglijabile. Acest lucru permite sistemului să compare o reprezentare achiziționată cu un număr interesant de intrări în baza de date (de ordinul miilor) în mai puțin de o secundă. Sistemul exploatează această rată de comparație ca o soluție brută de identificare, nu doar de verificare a unui operator ci și, de exemplu, de examinare secvențială a fiecărei înregistrări din baze de date de mărime moderată. În timp ce această capacitate de căutare este impresionantă, identificarea în fața bazelor de date în mod semnificativ mai mari ar putea necesita o strategie de indexare mai complexă.

Sistemul Wildes et al. se bazează pe o procedură mai complicată pentru a cuantifica gradul de potrivire. Abordarea se bazează pe o corelare normalizată dintre reprezentarea achiziționată și cea din baza de date. Într-o formă discretă, corelația normalizată poate fi definită în felul următor. Fie p1[i,j] și p2[i,j] două tablouri de imagine de mărime nxm. Mai mult, fie

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (p1[i, j] - \mu_1)^2} \text{ și} \quad (3.25)$$

$$\mu_1 = \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p1[i, j] \quad (3.26)$$

să fie mediul și devierea standard pentru intensitățile p1. De asemenea, fie μ_2 și σ_2 definite în mod similar cu referință la p2. Atunci, corelația normalizată între p1 și p2 poate fi definită în felul următor

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (p1[i, j] - \mu_1)(p2[i, j] - \mu_2)}{nm\sigma_1\sigma_2} \quad (3.27)$$

corelația normalizată surprinde același tip de informație ca o corelație standard (de exemplu similarității integrate între puncte corespondente dintre regiuni); oricum, corelația se ocupă de asemenea cu variațiile locale în intensitatea imaginii care corup corelările standard [BALLARD1]. Această robustețe apare când intensitatea medie se scade din numărătorul rației de corelație, în timp ce abaterile standard apar în numitor. La punerea în aplicare, corelațiile sunt efectuate discret în blocuri mici de pixeli (8×8) în fiecare din cele patru benzi spațiale de frecvență, care sunt instanțiate în reprezentările piramidei Laplaciene. Aceste operațiuni au ca rezultat valori multiple de corespondență pentru fiecare bandă. Prelucrări ulterioare combină corelații bloc dintr-o bandă într-o valoare unică prin intermediul statisticii mediane. În concluzie, aceasta produce un set de patru valori a gradului de potrivire, una pentru fiecare bandă de frecvență. Gruparea în blocuri combinată cu operațiunea mediană permite ajustări locale de potrivire și un grad de respingere, și oferă, prin urmare, robustețea împotriva nepotrivirilor datorate zgomotului, nealinierei, și ocluziei (de exemplu, o geană care nu este la locul ei). Această metodă a fost aplicată doar pentru sarcina de verificare.

4. Decizia: Ultima sarcină care trebuie efectuată pentru scopurile curente este de a evalua valorile gradului de potrivire într-o hotărâre finală cu privire la datele obținute: dacă datele achiziționate provin (autentic) sau nu (impostor) de la același iris de la care provin și cele din baza de date. Pentru sistemul Daugman, aceasta se ridică la alegerea unui punct de separare în spațiul distanțelor Hamming (normalizate) dintre reprezentările irisului. Distanțele mai mici decât punctul de separare vor fi luate ca indicative de autenticitate; cele mai mari vor fi luate ca indicative de impostură. Se face un apel la teoria deciziei statistice [MACMILL1], [TANNER1] pentru a oferi o abordare principială în selectarea punctelor de separare. Acolo, având în vedere distribuții pentru cele două evenimente care urmează să fie diferențiate (de exemplu, autentic versus impostor), strategia de decizie optimă este definită prin considerarea separării ca punct în care se intersectează cele două distribuții. Această strategie de decizie este optimă prin aceea că generează probabilități egale de erori de acceptări false și respingeri false. (Desigur, chiar și cu un punct decizional teoretic "optim" la dispoziție, cercetătorul este liber să aleagă fie un criteriu de decizie mai conservator, fie unui mai liberal, în funcție de nevoile unei anumite instalații.) Pentru a calcula punctul de intersecție, mostrelor de populație de impostori și autentici li s-au atribuit distribuții definite parametric. Acest lucru a fost necesar pentru că nici o informație, de exemplu distanțe Hamming, nu au fost observate în regiunile de intersecție. Distribuții binomiale au fost folosite pentru potriviri empirice. Se dă o distribuție binominală

$$p(k) = \binom{n}{m} P^k (1 - P)^{n-k} \quad (3.28)$$

unde

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k * (n - k)!} \quad (3.29)$$

este numărul de combinații k de n elemente diferențiabile. Această formulă generează probabilitatea de k succese în n teste independente Bernoulli. Un test Bernoulli este la rândul său definit pentru a genera o valoare experimentală pentru o variabilă oarecare discretă în funcție de distribuția

$$p_v(v_0) = \begin{cases} 1-P & \text{daca } v_0 = 0 \\ P & \text{daca } v_0 = 1 \\ 0 & \text{altfel} \end{cases} \quad (3.30)$$

cu un rezultat de $v=1$ interpretat ca succes și unul de $v=0$ interpretat ca eșec. Utilizarea unei distribuții binomiale a fost justificată pentru cazurile de potriviri-impotrivă bazate pe caracterul distinct al diferitelor iriși. Adică, potrivirea biților între o pereche de reprezentări de la iriși diferiți a fost luată ca o serie de teste Bernoulli. Cu toate acestea, nu toate potrivirile de biți au fost luate ca independente, datorită prezenței unor corelații inerente în structura irisului, precum și corelații introduse în timpul prelucrării. În mod semnificativ, nu aceeași justificare a fost dată pentru modelarea autenticilor.

Pentru sistemul Wildes procesul de luare de decizii trebuie să combine cele patru măsurători a gradului de potrivire care sunt calculate în stagiul anterior al procesării (de exemplu, câte una pentru fiecare trece bandă din reprezentarea piramidală Laplaciă) într-un singur raționament de acceptare/rejectare. Remediul se găsește în tehnicile standard din clasificarea tiparelor. În special, noțiunea la care se face trimitere este aceea de a combina valorile astfel încât varianța dintr-o clasă de date despre iris este redusă la minim, în timp ce variația dintre diferitele clase de date despre iris este maximizată. Funcția liniară care oferă o astfel de soluție este bine cunoscută și este dată de discriminantului liniar al lui Fisher [DUDA1], [FISHER1]. Această funcție poate fi definită în felul următor. Se dau un număr n de mostre dimensionale q, din care n_a sunt dintr-un set A și n_i sunt dintr-un set I. De exemplu, în aplicația curentă, fiecare mostră corespunde unui set de măsurători multiscalare de grade de potrivire, în timp ce clasele ce trebuie distinse sunt autenticii și impostorii. Discriminantul liniar al lui Fisher definește un vector de greutate w, astfel încât raportul dintre varianța de clasa cea din interiorul clasei este maximizat pentru mostra modificată $w^T q$. Pentru a formaliza această noțiune, se ia $\mu_a = (\sum_{q \in A} q) / n_a$ (3.31) care este d - media dimensională pentru $q \in A$, și în mod similar pentru u_i . O măsură de variațiile dintr-o clasă de date pot fi furnizate în ceea ce privește o matrice scatter cu forma

$$S_a = \sum_{q \in A} (q - \mu_a)(q - \mu_a)^T \quad (3.32)$$

cu A și I definite în mod similar și pentru I. Totalul în interiorul clasei scatter este dat ca $S_w = S_a + S_i$. O măsură corespunzătoare a varianței între clase poate fi definită în termenii unei matrice scatter

$$S_b = (\mu_a - \mu_i)(\mu_a - \mu_i)^T \quad (3.33)$$

Luând în considerare și definițiile anterioare, formula $\frac{\omega^T S_b \omega}{\omega^T S_w \omega}$ (3.34) descrie raportul

dintre varianțele dintre clase și din interiorul clasei ale mostrelor transformate ωq . În cele din urmă utilizarea câtorva calcule și date de algebră lineară duce la concluzia că ω care maximizează acest raport este dat de formula următoare $\omega = S_w^{-1}(\mu_a - \mu_i)$ (3.35).

În mod interesant, S_b nu apare în această formulă pentru ω , pentru că funcția sa este pur și simplu de a măsura rezultatul global fără a modifica separația. Pentru a aplica clasificării această funcție discriminatorie, un punct de separare trebuie să fie definit în gama acesteia. Valorile mai mari decât acest punct vor fi considerate ca derivate din clasa A. Valorile mai mici vor fi considerate ca derivate din clasa I. În aplicația curentă, punctul de

separare este luat ca punct median între mediile de transformare a mostrelor din A și I, (de exemplu, $\frac{1}{2} \omega^T (\mu_a + \mu_i)$) (3.36). În cazul în care probabilitățile măsurătorilor din orice clasă

sunt în mod normal distribuite și au varianță egală (de exemplu, $p(q|A) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma} e^{-|q-\mu_a|^2/2\sigma^2}}$

(3.37)) cu varianța σ^2 , și în mod similar și pentru I), atunci alegerea acestui punct de separare se poate dovedi a fi optimă (de exemplu, cu probabilitate egală de erori de acceptări false și acceptări adevărate). Totuși, raționamentul este euristic în cazul măsurătorilor de potrivire de iris, în cazul în care aceste ipoteze nu sunt cunoscute să fie sustenabile. În implementare, discriminantul a fost definit empiric pe baza unui set de date antrenate despre iris.

În timp ce ambele metode de decizie au dat rezultate bune până în prezent, ipotezele care stau la baza procesului de modelare de date trebuie să fie riguros evaluate în raport cu un corpus de date mai larg. Ambele metode se bazează pe ipoteza că populațiile impostoare și cele autentice pot fi modelate cu câte o singură distribuție. Un principiu de bază al recunoașterii irisului este acela că irișii sunt extrem de diferiți. Prin urmare, este rezonabilă vizualizarea distribuției de impostori ca variind în funcție de o tendință centrală dictată de unele noțiuni de independență, de exemplu, o șansă de 50% de potrivire între biții individuali în reprezentarea Daugman sau o corelație slabă pentru potrivirile multiscale din sistemul Wildes et al. Întrădevăr, empiric vorbind, acesta pare să fie cazul pentru ambele sisteme. Oricum, nu există o susținere teoretică pentru modelarea autenticii printr-o singură distribuție. De fapt, s-ar putea argumenta că autenticii ar fi cel mai bine modelați de un amestec de distribuții, poate chiar o distribuție pentru aparițiile repetate ale fiecărui iris. Din punct de vedere empiric, este de interes faptul că strategiile actuale de decizie sunt derivate din mostre destul de mici de populație (de exemplu, de ordinul sutelor). Acest aspect este agravat de faptul că puține date au fost raportate în regiunile decizionale de intersecție, exact în punctele de cel mai mare interes. Pentru a rezolva aceste probleme în mod corespunzător, va fi necesar să se ia în considerare un eșantion mai mare de date despre iris decât au fost luate în considerare în sistemele actuale.

Observație: Ambele abordări revizuite despre potrivirea de modele se bazează pe metode care sunt strâns legate de intensitățile de imagine înregistrate. Reprezentări mai abstracte pot fi necesare pentru a face față unei variații mai mari în apariția oricărui iris, de exemplu, cum ar putea rezulta dintr-o achiziție mai relaxată de imagine. O modalitate de a gestiona o variație mai mare ar fi aceea de a extrage și potrivi seturi de caracteristici care sunt de așteptat să fie mai robuste la denaturări fotometrice și geometrice în imaginile achiziționate. În special, caracteristici care sunt într-o relație mai strânsă și mai explicită cu structurile fizice ale irisului ar putea manifesta comportamentul dorit. De exemplu, rezultatele preliminare indică faptul că potrivirea multiscale a petelor ar putea fi valoroasă în această privință. Această abordare se bazează pe corespondența dintre structurile sub formă de pată întunecate și luminoase care apar de obicei în imaginile și structurile irișilor, cum ar fi cripte, pistrui, nevi, și striții. În cazul în care metodele actuale de potrivire de modele în ceea ce privește irisul încep să se dizolve în aplicații viitoare, atunci aceste abordări simbolice merită luate în considerare. Totuși, ele nu valorează nimic dacă robustețea adăugată pe care o pot genera aceste abordări vor aduce cel mai probabil și cheltuieli crescute de calcul.

În concluzie, principalele componente funcționale ale sistemelor existente de recunoaștere a irisului sunt: achiziția imaginii, localizarea irisului, și potrivirea de modele.

În evaluarea desingului acestor componente, trebuie luate în considerare o serie largă de probleme. Unele dintre cele mai importante sunt: natura fizică a irisului, optica, procesarea și analizarea imaginilor, și factorii umani. Toate aceste aspecte trebuie luate în considerare pentru a produce soluții robuste chiar și atunci când ne lovim de costuri de calcul modeste și de design. Există deja soluții pentru aceste probleme, ele dovedindu-se sigure în evaluările

preliminare. Scenarii operaționale mai dificile (de exemplu, achiziționarea de imagini cu o mai mică participare din partea operatorului) ar putea necesita abordări oarecum diferite sau cel puțin mai elaborate.

Componentele de achiziție a imaginii, de localizare a irisului, și de potrivire de modele (pattern-matching) dezvoltate de Daugman și Wildes et al. au fost asamblate ca sisteme prototip pentru recunoașterea irisului. Ambele sisteme sunt deja patentate în America. Mai mult, ambele sisteme au fost obiectul unor evaluări empirice preliminare. În această secțiune, vor fi descrise aspecte ale sistemelor și a performanțelor acestora.

Sistemul Daugman de recunoaștere a irisului constă într-o instalație de achiziție de imagini (camera video standard, lentile, un captator de frame-uri, un iluminator cu LED-uri și afișare video de miniatură pentru poziționare operatorului) interfațat către o stație de lucru standard (cu sistem de operare Sun 4). Software-ul de analiză de imagini al sistemului a fost implementat în cod întreg optimizat. Sistemul este capabil de trei moduri funcționale de operare: de înscriere, de verificare, și de identificare. În modul de înscriere, o imagine a unui operator este capturată și o intrare corespunzătoare este înregistrată și stocată în bazele de date. În modul de verificare, o imagine a unui operator este evaluată în raport cu o anumită înregistrare din baza de date. În modul de identificare, o imagine este evaluată în raport cu înregistrările din întreaga bază de date prin comparații secvențiale. Atât modul de înscriere cât și cel de verificare durează o secundă. Modul de identificare poate evalua aproximativ 4000 de înregistrări din baza de date în același quantum de timp. O versiune comercială a acestui sistem, este de asemenea disponibilă prin intermediul IriScan. Această versiune are în mare parte aceeași abordare, dar cu mai multe optimizări și hardware dedicat pentru o instanțiere mai compactă.

Sistemul Daugman a fost supus la două seturi de teste empirice. În primul studiu, 592 de iriși au fost recunoscuți ca aparținând la 323 de persoane [DAUGM3]. O medie de aproximativ trei imagini au fost luate pentru fiecare iris. (Intervalul de timp implicat în captura unui iris nu au fost raportat.) Irișii implicați au fost din gama de culori comune pentru iriși: albastru, maro deschis, verde și maro. Această pregătire permite evaluarea datelor originale și a unor date de intrare noi, dintr-o serie reprezentativă de pigmenți ai irișilor și a unor imagini ale unor iriși achiziționate după trecerea timpului. În fața acestui set de date, sistemul a demonstrat acceptări false și respingeri false. Într-o încercare de a analiza datele acestui experiment, au fost construite seturi de iriși pentru a observa datele de intrare adevărate și false, și anume, astfel cum a fost descris anterior în timpul discuției cu privire la potrivirea de modele (pattern-matching). Seturile au fost folosite pentru a calcula o serie de statistici. Rata de erori pentru datele de intrare fals pozitive și fals negative s-a dovedit a fi de 1 din 131 000. În plus, pe baza seturilor de date false și adevărate, au fost calculate statistic ieșirile sistemului. Pentru comparație, un set inexistent în sistem (impostor), increderea cu care operatorul au fost respins, a corespuns unei rate fals pozitive de 1 în 109.6. Pentru o comparație de "tipic" autentic, increderea cu care operatorul a fost respins, a corespuns unei probabilități fals negative de 1 la 1031. Interpretarea acestor concluzii necesită prudență. După cum s-a menționat în timpul discuției despre pattern-matching, justificarea pentru potrivirea datelor de intrare cu seturile binomiale este problematică. Dintr-un punct de vedere teoretic, nu este clar de ce o astfel de distribuție este adecvată în cazul datelor autentice. Din punct de vedere empiric, testele se bazează pe eșantioane mici de populație, și datelor de intrare le lipsesc cele din alte regiuni. Cu toate acestea, este de remarcat faptul că din punct de vedere calitativ, datele legate de autentici și impostori au fost separate în acest studiu. Într-un al doilea studiu, o versiune preproducție a sistemului comercial IriScan a fost evaluat [BOUCH1]. În acest studiu, sistemul a fost instalat într-un spațiu public din Sandia National Laboratories, NM. Operatorii au fost voluntari din comunitatea Sandia. În prima fază, 199 iriși au fost reprezentați ca aparținând la 122 de persoane. După înrolare, operatorii au

încercat de 878 de ori să folosească sistemul în modul de identificare pe parcursul a 8 zile. Dintre aceste încercări, 89 au fost fals negative. În 47 dintre aceste cazuri, operatorul a încercat din nou și doar 16 dintre aceste noi încercări au fost acceptate. Toate aceste erori s-au datorat fie ochelarilor sau lentilelor de contact care au făcut irisul neclar, fie dificultății utilizatorilor (dificultăți de poziționare). Nu s-au înregistrat încercări fals pozitive. În a doua fază, 96 dintre oamenii din prima fază, au încercat o identificare dintr-o baza de date de 403 înregistrări ce nu corespundeau persoanelor în cauză. Încă o dată nu s-au înregistrat falsuri pozitive. Acest studiu este de un interes deosebit, deoarece, dintre testele cunoscute de recunoaștere a irisului, este cel mai apropiat de un sistem real. În ambele studii ale sistemului Daugman, operatorii nu au avut obiecții în evaluările lor. Cu toate acestea, în al doilea studiu s-au înregistrat unele rapoarte de disconfort legate de sursa de lumină.

Sistemul de recunoaștere a irisului Wildes et al. constă într-o instalație de achiziție de imagini (cameră video de lumină redusă, lentilă, captator de frameuri, iluminator difuz polarizat, și reticulului de poziționare a operatorului) interfațat cu o stație de lucru standard (a SPARCStation Sun 20). Software-ul de analiză de imagini pentru acest sistem a fost implementat în C sau în UNIX C, fără a fi optimizat. Acest sistem este capabil de două moduri de funcționare: înscriere și verificare. Aceste moduri funcționează analog cu cele descrise de sistemul Daugman. Ambele moduri necesită aproximativ 10 s pentru a finaliza. Un salt semnificativ în viteză ar putea fi posibil printr-o optimizare a soft-ului de analiza a imaginii. Nu există încă nici o variantă comercială a acestui sistem.

Sistemul Wildes et al. nu a fost evaluat în aceeași măsură ca sistemul Daugman. În mod particular sistemul Wildes a fost subiectul unui studiu empiric. În acest caz, un total de 60 de iriși au fost recunoscuți ca aparținând unui număr de 40 de persoane. Pentru fiecare iris un set de 10 imagini au fost capturate: 5 la începutul testului și 5 după o luna. Trebuie remarcat că acest test a inclus și gemeni identici. Din nou, un set de culori normale ale irisului a fost înregistrat (albastru, maro deschis, verde și maro). Aceste pregătiri au permis aceleași tipuri de comparații ca în experimentele descrise anterior. Nu s-au observat falsuri pozitive și negative în acest set de date. În acest caz nu s-a făcut o analiză statistică din cauza numărului mic de participanți. Cu toate acestea, la un nivel calitativ, datele despre subiecții adevărați și cei falși au fost bine separate. În rapoartele lor subiective, operatorii nu au avut reproșuri.

În general, cele două sisteme prezentate de recunoaștere a irisului s-au prezentat remarcabil în timpul testelor preliminare. Chiar dacă experimentele au fost făcute pe un număr de 10^2 iriși sau mai puțin, cu o bază de date (set de intrare) de 10^{10} iriși, trebuie să se acorde atenție în extrapolarea acestor date. Cu toate acestea, rezultatele sunt în favoarea recunoașterii irisului ca o tehnologie biometrică promițătoare.

Concluzii. Eforturile recente au condus la sisteme automate care fac pași importanți în folosirea potențialului de recunoaștere a persoanelor după iris. Așa cum autorul a prezentat anterior, aceste sisteme sunt relativ compacte și eficiente și au demonstrat performanțe promițătoare la testele preliminare. Sistemele existente necesită o participare consistentă a operatorului și funcționează de la distanțe mici. Prin urmare, acestea sunt potrivite pentru controlul intrărilor. Noțiunea că irisului este biometric util pentru recunoaștere provine în mare parte din dovezi clinice anecdotice. Aceste dovezi sugerează ca irisul este distinct și stabil în timp. Testele empirice ale sistemelor de recunoaștere a irisului susțin aceste teorii; dar aceste teste au avut un scop limitat. O direcție importantă pentru viitoarele eforturi este designul și execuția studiilor longitudinale la scară mare. Doar prin aceste studii poate fi recunoscută acuratețea recunoașterii irisului pentru identificare și verificare. O alta direcție pentru viitoarele studii ar fi relaxarea constrângerilor actualelor sisteme de recunoaștere a irisului. În acest sens ar fi de dorit diminuarea aportului operatorului chiar și prin mărirea distanței de evaluare. Dacă aceste scopuri vor fi atinse, recunoașterea irisului va oferi bazele unor verificări biometrice neinvazive. Mai mult, în cazul în care aceste îmbunătățiri poate fi

implementate și în același timp menținând implementări compacte, eficiente, și cu costuri reduse, atunci recunoașterea irisului va fi bine poziționată pentru implementarea pe scară largă.

3.3.4. Articole publicate după anul 1999

În anul 1999 s-a realizat lucrarea „Iris identification system and iris identification method” („Sistem de identificare a irisului și metodă de identificare a irisului”) [MITSUJI], care reprezintă patentul numărul 5901238 din 4 mai 1999, autorul fiind Mitsuji Matsushita. Dispozitivele convenționale de identificat persoana prin citirea irisului se comportă în felul următor: acestea identifică prima dată o imagine a capului persoanei, iar mai apoi camera digitală localizează ochii, ulterior apropiindu-se de aceștia pentru a analiza irisul.

O problemă cu dispozitivele automate instalate cu scopul analizării irisului unei persoane este reprezentată de faptul că lumina din camera respectivă se reflectă asupra irisului individului, acest lucru ducând la obținerea unei imagini imprecise a irisului persoanei respective, amplificându-se astfel posibilitatea ca rezultatul generat să nu fie cel corect.

Patentul își propune să elimine aceste deficiențe ale sistemului, prin stocarea în baza de date a unei multitudini de imagini capturate, pentru ca în momentul comparării să poată căuta prin toate imaginile existente și să găsească una care să fie perechea imaginii analizate. Prin această invenție se propune să se extragă numai o parte a irisului fotografiat pentru analiză, acea parte fiind una de maximă relevanță în obținerea rezultatului dorit. Acest lucru face să nu fie nevoie ca tot irisul să fie analizat.

Dispozitivul propus poate să extragă mai multe porțiuni necesare identificării dar va cumula toate acele porțiuni pentru a da cel mai bun rezultat. Acest pas înainte face ca viteza și precizia aparatului să crească simțitor. Această invenție este exemplificată prin prisma unui aparat care este pus la îndemâna oamenilor.

Deci este mult mai accesibilă publicului larg, deoarece aceasta invenție este reprezentată de un bancomat cu recunoaștere a irisului. Acest bancomat are înmagazinat în el toate funcțiile unui bancomat de la bancă dar în plus mai are trei opțiuni: opțiunea de depunere de bani direct prin bancomat nemaifiind nevoie ca respectivul client să meargă la ghișeu, a doua opțiune este reprezentată de recunoașterea amprentei vocale și a treia opțiune este reprezentată de faptul că folosește identificarea persoanei pe baza irisului. În momentul în care imaginea irisului este declarată de calculator ca și exactă cu imaginea din baza de date, clientul este identificat și poate să își facă operațiunea în voie.

Imaginea irisului obținută pe moment se împiedică de aceeași problemă ca și la aparatele vechi, și anume din pricina luminii și a umbrelor rezultate imaginea irisului s-ar putea să nu coincidă cu cea stocată în baza de date. În acest caz computerul împarte imaginea minuțios în biți și compară biții de la imaginea obținută cu biții de la imaginea din baza de date, acest lucru întâmplându-se numai după ce computerul sincronizează perfect biții (bit cu bit) imaginii nou obținute.

Compararea biților are loc în modulul principal de control pe când generarea și sincronizarea biților are loc în memoria intermediară (auxiliară). În acest fel se poate obține un rezultat cât mai precis. Calculul asemănării se face cu ajutorul algoritmului de asemănare al lui Euclid.

În esență, acest sistemul crește încrederea de a folosi identificarea pe baza irisului uman.

În anul 2003 s-a realizat lucrarea “Iris information acquisition apparatus and iris identification apparatus” („Aparat pentru achiziția informațiilor despre iris și aparat de

identificare bazat pe iris”) [HARUOITO], care reprezintă patentul 6526160 din 23 februarie 2003, realizat de către Haruo Ito.

Acest patent a apărut din dorința oamenilor de a face sistemele de securitate mult mai performante, eficiente, să se poată baza pe ele în orice situație și mai ales să fie cât mai greu de păcălit de către cei răuvoitori.

În afară de metodele tradiționale de securitate și identificare (amprentarea, care este folosită de o gamă largă de persoane), s-a dorit sporirea nivelului de securitate la accesul în cadrul unei incinte prin identificarea pe baza citirii irisului.

Avantajele identificării cu ajutorul irisului sunt reprezentate de faptul că s-a descoperit că irisul nu se schimbă semnificativ de-a lungul vieții și se stabilizează începând de la vârsta de doi ani.

Un scop al acestei invenții este acela de a genera un cod al irisului în timp real. Invenția conține un senzor de captare a imaginii (care culege informații despre iris), care cuprinde un grup de pixeli fotoelectrici de conversie.

Acest senzor poate fi compus dintr-un grup de pixeli aranjați în cercuri concentrice sau poate fi compus dintr-un grup de pixeli aranjați în formă de spirală care se extinde într-o direcție radială.

Aparatele tind să devină din ce în ce mai complexe pentru a asigura precizie cât mai mare în analiza irisului. Aparatul prezentat în acest patent se bazează pe o serie de senzori ultra sensibili care au fiecare câte o sarcină bine definită.

Aparatul este format dintr-un scanner care scanează imaginea exterioară a unui iris. În sine invenția obține informații despre zona irisului care a fost scanată cu ajutorul unui aparat de „culegere” a informațiilor despre iris.

Această operațiune are loc în mai mulți pași: 1) se prelevează imaginea; 2) un senzor care determină devierea și centrează irisul cu coordonatele polare ale senzorului; 3) un senzor care determină exact marginile irisului; 4) un scanner care scanează exact regiunea delimitată de senzorul anterior și prezintă datele culese.

Se folosesc aceleași procedee de aducere a irisului la forma corectă, prin iluminare din diferite unghiuri ale irisului pentru a aduce umbrele ca acelea din imaginea predefinită și de iluminare directă a irisului pentru a aduce pupila la mărimea potrivită pentru identificarea corectă.

Lentilele folosite pentru fotografiere și analizare sunt mai performante, ele fiind capabile de un anumit zoom necesar cercetării mai de aproape a anumitor detalii esențiale în identificare.

Creșterea în performanță este subliniată și de faptul că se reușește compararea și a anumitor părți ale irisului care se află ascunse din anumite motive sub pleoapă, care cu ajutorul patentelor formulate anterior nu ar fi fost posibil.

Imaginile și informațiile strânse despre irisul scanat sunt salvate într-o memorie non-volatilă pentru siguranță și pentru a oferi posibilitatea de investigații suplimentare ulterioare, dacă acestea sunt necesare.

Lucrarea “Improving Iris Recognition Performance Using Segmentation, Quality Enhancement, Match Score Fusion, and Indexing” („Îmbunătățirea performanțelor de recunoaștere a irisului folosind segmentarea, îmbunătățirea calității, fuziunea scorului de potrivire și indexarea”) [VATSA], a fost realizată în anul 2008 de către M.Vatsa, R. Singh, A.Noore, și publicată de către IEEE.

Se dorește îmbunătățirea recunoașterii persoanelor pe baza irisului folosind segmentarea, calitatea superioară, potrivirea cu furnizare de scor și indexarea. Se folosesc anumiți algoritmi pentru a reuși să crească viteza și acuratețea identificării irisului. Scopul este să se poată reduce rata respingerilor eronate chiar și atunci când trebuie de lucrat cu o

imagine de slabă calitate. Aici intervine procedeul segmentării, deoarece se preiau anumite segmente dintr-o multitudine de imagini de slabă calitate ale aceluiași iris. Procedeul de sporire a calității este folosit atunci când există mai multe imagini cu o calitate slabă dar care va fi sporita ulterior.

Acest procedeu preia anumite părți (cele mai bune) din diferite imagini la care le-a fost sporită calitatea, ca să formeze la sfârșit o imagine de calitate superioară. Sunt extrase două caracteristici ale imaginii, cea texturală, folosindu-se transformările logaritmice 1-D Gabor, și caracteristica topologică locală folosindu-se numerele lui Euler.

Procedeul de indexare este o variantă mai completă a procedurii de sporire a calității, la acesta adăugându-se la sfârșit și un algoritm de indexare care facilitează citirea mai rapidă și mai precisă.

Metodele actuale de recunoaștere a irisului se bazează pe faptul că fotografiile se fac într-un mediu controlat ca să poate fi de o calitate cât mai bună. Încercarea oamenilor de știință este ca imaginile capturate într-un mediu necontrolat să poată să fie folosite pentru identificare. În această lucrare se încearcă să se îmbunătățească performanțele de verificare și identificare ale irisului. Se folosește procedeul Mumford-Shah pentru a segmenta imagini ale irisului fotografiate în condiții non-ideale. În funcție de calitatea și de condițiile în care a fost capturată imaginea se selectează un anumit set de algoritmi pentru a face analiza irisului. Algoritmii de identificare ale irisului necesita un timp îndelungat pentru a captura și analiza imaginea, dar aici se încearcă să se reducă timpul acesta fără să se renunțe la precizia răspunsului dat.

Algoritmii de indexare reduce semnificativ timpul de acordare a unui răspuns, fără a fi defavorizată precizia analizei. S-a constatat că prin folosirea algoritmului de indexare nu numai că nu se periclitează precizia cu care se ia decizia, dar în unele cazuri această precizie este chiar mai sporită într-un anumit procent.

Programele de înaltă fidelitate actuale au o rată a erorii extrem de mică, dar cu toate acestea cercetătorii își propun provocarea de a reduce cât mai mult posibil numărul erorilor. Se folosesc algoritmi de estimare a marginilor irisului pentru a crește viteza și a reduce costurile radical. Se folosesc algoritmi de extracție care doresc ca pe baza unor elemente cheie să identifice irisul și să permită aflarea rezultatului mult mai rapid. Pentru a reduce și mai mult erorile se folosesc și algoritmi de însumare care însumează mai multe rezultate ale scanării irisului și după aceasta oferă un rezultat mai precis. În acest fel se reduc erorile, deoarece nu se lucrează cu o singură imagine, ci cu mai multe. Avantajul acestei invenții este că identificarea pe baza irisului se poate face și dintr-o fotografie făcută în condiții nu tocmai ideale și se poate ajunge la un rezultat favorabil folosind algoritmi elaborați.

În anul 2009 s-a patentat lucrarea "Distance iris recognition" („Recunoașterea irisului de la distanță”), realizată de către Rida M. Hamza, și care reprezintă patentul numărul 7593550 din 22 septembrie 2009 ([HAMZA]).

Invenția se referă la anumite caracteristici de identificare biometrică pentru a putea identifica o persoană de la distanță. Invenția înglobează și cunoștințele de la patentele anterioare.

Se folosește o cameră care să surprindă imaginea irisului, un calculator care să estimeze marginile irisului și de asemenea se folosește procedeul de segmentare care era folosit și în patentul din 2008. În acest patent se folosesc coordonatele polare, precum și algoritmul de împărțire a irisului în mai multe părți. Se folosește procedeul de însumare pentru ca din multitudine de imagini care sunt la dispoziție să se formeze o imagine de mai bună calitate, care să poată fi analizată mai ușor.

Calculatorul trebuie să despartă zonele afectate ale irisului de zonele neafectate și să le normalizeze până acestea se vor potrivi. Sistemul elaborat cu ajutorul noilor tehnologii este

mult mai de încredere și mai eficient decât ce s-a realizat până în acel moment. Încercarea oamenilor de știință este ca imaginile capturate într-un mediu necontrolat să poată să fie folosite pentru identificare, iar totodată aceste imagini să poată fi obținute de la o distanță apreciabilă.

Reușita acestei noi invenții se bazează pe faptul că, față de invențiile anterioare, fotografierea se poate face și de la distanță și nu este nevoie ca ochiul să fie într-o anumită poziție. În concluzie actuala invenție înglobează avantejele formulate de patentele anterioare și vine cu îmbunătățirea de a putea identifica persoana de la distanță.

În anii următori, interesul pentru recunoașterea persoanelor folosind irisul a cunoscut o creștere importantă, care poate fi văzută și din numărul tot mai mare de articole publicate în acest sens. În acest capitol s-au prezentat cele mai importante articole și patente, care vor fi utilizate în dezvoltarea ulterioară a unor aplicații care vor fi prezentate în cadrul tezei de doctorat.

Capitolul IV

Concluzii și direcții viitoare de cercetare

4.1. Concluzii și contribuții ale autorului

În acest referat au fost prezentate foarte multe informații referitoare la biometrie în general, precum și la două dintre cele mai utilizate caracteristici: amprenta digitală și irisul. În continuare se vor prezenta principalele concluzii și contribuții ale autorului.

Capitolul I – „Biometria – o nouă metodă de autentificare a persoanelor” reprezintă o introducere în domeniul tehnologiilor biometrice. Principala contribuție este dată de prezentarea unitară și detaliată a noțiunilor de biometrie. Prezentarea este foarte bine documentată și susținută de explicații și imagini foarte sugestive pentru subiectul tratat. Se prezintă funcționarea sistemelor biometrice, diferențele între verificare și autentificare, performanțele unui sistem biometric și aplicații ale biometriei. În continuare, se prezintă cele mai importante caracteristici biometrice, cu trăsăturilor lor definitorii (fizionomia, tehnici antropometrice, amprentele papilare, imaginea irisului și a retinei, termograma facială, recunoașterea vocală, dinamica semnăturii, ADN-ul și elementele artificiale de identificare). Capitolul poate reprezenta un punct de start în studierea acestui domeniu, având în vedere faptul că bibliografia în limba română în acest domeniu este ca și inexistentă.

Capitolul II – „Recunoașterea persoanelor după amprenta digitală” urmărește parcursul utilizării amprentelor digitale de la sistemele manuale de clasificare și regăsire, la cele automate folosite în prezent.

Principalele contribuții ale autorului în capitol sunt:

- la începutul capitolului sunt prezentate date generale despre amprente, împreună cu tipurile principale de desene papilare;
- au fost prezentați principalii senzori utilizați în vederea preluării imaginilor amprentelor digitale. Autorul a prezentat atât modele ale dispozitivelor de captare a imaginilor amprentelor, cât și schemele de principiu în funcționarea acestora. S-au subliniat avantajele și dezavantajele fiecărui tip de senzor.
- prezentarea în ordine cronologică a lucrărilor reprezentative din domeniul recunoașterii amprentelor digitale, care urmărește parcursul utilizării amprentelor digitale de la sistemele manuale de clasificare și regăsire, până la cele automate folosite în prezent. După prezentarea cronologică, în care se regăsesc materiale din perioada 1892-2009, s-au descris pe larg lucrări de bază ale acestui domeniu, printre cele mai reprezentative fiind cele scrise de către Alessandro Farina, Nalini K. Ratha, Anil K. Jain. În cadrul acestor prezentări s-au subliniat avantajele, dezavantajele și îmbunătățirile aduse acestui domeniu de studiu de către autorii respectivi.

Capitolul III – „Recunoașterea persoanelor după iris” prezintă informații despre senzori, echipamente și în special metode utilizate pentru identificarea sau recunoașterea indivizilor după caracteristicile irisului, împreună cu contribuțiile autorului tezei de doctorat la dezvoltarea acestui domeniu de cercetare de o foarte mare actualitate.

Principalele contribuții ale autorului în acest capitol sunt:

- prezentarea datelor generale despre ochiul uman și iris;

- echipamentele de achiziție a imaginii irisului au fost prezentate în continuare, insistându-se pe descrierea web-cam-ului Panasonic BM-ET100US, care a fost folosit în cadrul tezei de doctorat. Această cameră are două avantaje evidente: i) imaginea irisului este preluată în infraroșu; ii) poate fi folosită și pentru recunoașterea persoanelor după fizionomia feței, deoarece dispune de două obiective (unul pentru preluarea imaginii irisului și celălalt pentru web-cam clasic, prin care se poate prelua imaginea persoanei)
- prezentarea istoricului și stadiului actual privind identificarea persoanelor după iris, insistându-se pe două lucrări fundamentale din domeniu, scrise de către John Daugman și Richard P. Wildes.

4.2. Direcții viitoare de cercetare privind tehnologiile biometrice

Printre principalele direcții viitoare de cercetare se pot aminti:

- securizarea accesului într-un automobil;
- crearea unei baze de date pentru identificarea persoanelor în cazul solicitării ambulanței la accidente rutiere sau pentru transportul unor persoane a căror identitate nu este cunoscută, împreună cu înregistrarea într-o bază de date centrală a istoricului medical al fiecărei persoane;
- securizarea dispozitivelor de identificare: pașaport biometric, carte de identitate, permis de conducere.

Bibliografie

- [ATM1] <http://www.atmmarketplace.com/article.php?id=9738&na=1>
- [BEN1] <http://www.iaa.gov.il/Rashat/en-US/Airports/BenGurion/>
- [BMS1] http://www.black-sign.com/RO/flash/BMS-F01_Brosura.pdf
- [DIS1] http://newsinitiative.org/story/2006/09/01/walt_disney_world_the_governments
- [GALTON1] <http://galton.org/books/finger-prints/index.htm>
- [KRO1] <http://media.www.thebatt.com/media/storage/paper657/news/2002/06/10/FrontPage/Kroger.Now.Offering.Fingerprint.Scanning-517946.shtml>
- [PRIV1] <https://www.schiphol.nl/AtSchiphol/PriviumMagazine/PriviumMagazine.htm>
- [USVIS1] <http://Twww.dhs.gov/usvisit>
- [ANSI1986] Fingerprint Identification - Data Format for Information Interchange, American National Standards Institute, New York, 1986.
- [ARRAO1] Ravishankar Rao, A., *A Taxonomy for Texture Description and Identification*, Springer-Verlag, New York, 1990
- [AZUMAT] Azuma Takeo, *Iris code generation method, individual authentication method, iris code entry device, individual authentication device, and individual certification program*, patent nr. 7379567 din 27 mai 2008
- [BALLARD1] D. H. Ballard and C. M. Brown, *Computer Vision*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1982.
- [BARRY1] Barry, C., Ritter, N., *Database of 120 Greyscale Eye Images*. Lions Eye Institute, Perth Western Australia.
- [BART1] Bartlett, M.S., Movellan, J.R., Sejnowski, T.R., "Face recognition by Independent Component Analysis", *IEEE Trans. on Neural Networks*, 13, pp.1450-1464, 2002
- [BELH1] Belhumeur, P.N., Hespana, J.P., Kriegman, D.J., "Eigenfaces vs. fisherfaces: Recognition using class specific linear projection", *IEEE Trans. PAMI*, 19, no. 7, pp. 711-720, 1997
- [BELH2] Belhumeur, P.N., Kriegman, D.J., "What is the Set of Images of an Object under All Possible Illumination Conditions?", *Int. J. Computer Vision*, vol. 28, no.3, pp. 1-16, 1998
- [BERGEN1] J. R. Bergen, P. Anandan, K. Hanna, and R. Hingorani, "Hierarchical model-based motion estimation," in *Proc. Euro. Conf. Computer Vision*, Santa Margherita Ligure, Italy, 1991, pp. 5-10.
- [BERNSEN] J.A.C. Bernsen, An Objective and Subjective Evaluation of Edge Detection Methods in Images, *Philips J. Res.*, 46, 1991, pp.57 - 94.
- [BERT1] Alphonse Bertillon, *Identification anthropométrique – Instructions signalétiques*, Melun, Imprimerie administrative, 1893
- [BERT2] Alphonse Bertillon, *De l'identification par les signalements anthropométriques*, Archives de l'anthropologie criminelle et des sciences pénales, Conference faite le 22 novembre au congrès pénitentiaire de Rome
- [BOLDEA1] Maria BOLDEA, Costin Radu BOLDEA, *Identificare biometrica*, Revista Informatica Economica, nr. 1(25)/2003, pg. 78-82
- [BOLES1] Boles, W., Boashash, B., *A human identification technique using images of the iris and wavelet transform*, *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 46, No. 4, 1998.
- [BOUCH1] F. Bouchier, J. S. Ahrens, and G. Wells, "Laboratory evaluation of the IriScan prototype biometric identifier," Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, Tech. Rep. SAND'96-1033, 1996.
- [BRADRADU] Brad Radu, *Procesarea Imaginilor si Elemente de Computer Vision*, Ed. Univ. "Lucian Blaga" din Sibiu, 2003

- [BRIGHT1] R. Bright, *Smartcards: Principles, Practice, Applications*. New York: Ellis Horwood, 1988.
- [BULEA] Bulea, M. – Prelucrarea imaginilor și recunoașterea formelor. Teorie și aplicații, Editura Academiei Române, 2003
- [BURT1] P. Burt, E. Adelson. The laplacian pyramid as a compact image code. *IEEE Transactions on Communications*, Vol. COM-31, No. 4, 1983.
- [CANNY] Canny, J., F., - Finding Edges and lines in Images, technical report, MIT Artificial Intelligence Laboratory, 1983
- [CANNY86] – J.Canny, A computational Approach to Edge Detection, *IEEE Transaction on pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.8, No.6, November 1986, pp. 679 – 698;
- [CASTAN] S.Castan, J.Zhao, J.Shen, Optimal Filter for Edge Detection Methods and Results, Proc. On First European Conference on Computer Vision, Antibes, April, 1990, pp.13 – 17.
- [CĂLEANU1] Căleanu, C.D., *Recunoaștere facială bazată pe procesare neuronală paralelă și metoda operatorului de interes*, Teză de doctorat, Universitatea “POLITEHNICA” Timișoara, 2001.
- [CĂLEANU2] Căleanu, C.D., *Facial Recognition using Committee of Neural Networks*, Proc. 5th Seminar on Neural Network Applications în electrical engineering, NEUREL 2000, Belgrad, Yugoslavia., pag. 97-100, 2000.
- [CĂLIN1] Călin, C.F., *Structurarea și protecția datelor într-o rețea informatică interbancară*, lucrare de doctorat, București, 2005
- [CANNY] Canny, J., F., - Finding Edges and lines in Images, technical report, MIT Artificial Intelligence Laboratory, 1983
- [CHANG1] Chang, J.H., *Fingerprint Classification by Ridge Distribution Sequence and Ridge Distribution Model*, 2001
- [CHENKUO1] Chen, Z., Kuo, C.H., *A Topology-Based Matching Algorithm for Fingerprint Authentication*, în Proc.Int.Carnahan Conf. on Security Technology (ed. 25), pg. 84-87, 1991
- [CHIN1] Chinese Academy of Sciences – Institute of Automation. *Database of 756 Greyscale Eye Images*. <http://www.sinobiometrics.com> Version 1.0, 2003.
- [CHIRIL1] Chirillo, J., Blaul, S., *Implementing Biometric Security*, Wiley, 2003
- [CHONG1] Chong, Michael, et. al. *Automatic representation of fingerprints for data compression by b-spline functions*, *Pattern Recognition*, Volume 25, Issue 10, October 1992, Pages 1199-1210 Volume 25, Issue 10, Pages
- [CIOCI1] Ciocoiu, I.B., *Rețele neurale artificiale*, Editura Cantes, Iași, 2001
- [COETBOTH1] Coetzee, L., Botha, E.C., *Fingerprint Recognition în Low Quality Images*, *Pattern Recognition*, vol. 26, nr. 10, pg. 1441-1460, 1993
- [CORNELIULAZAR] Corneliu Lazăr, *Sisteme de vedere artificială*, suport de curs , capitolul 3 – Procesarea imaginilor
- [COVA1] Cova, J.-F., *Patent nr. 7,596,248 - Method for identification of person by recognition of a digital fingerprint*
- [DASS1] Dass, S., Jain, A.K., *Fingerprint classification Using Oriented Field Flow Curves*, 2002
- [DAUGM1] Daugman, J., *How iris recognition works*, Proceedings of 2002 International Conference on Image Processing, Vol. 1, 2002.
- [DAUGM2] Daugman, J., *Biometric personal identification system based on iris analysis*, United States Patent, Patent Number: 5.291.560, 1994.
- [DAUGM3] 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.

- [DAUGM4] Daugman, J., *Biometric decision landscapes*, Technical Report No. TR482, University of Cambridge Computer Laboratory, 2000 .
- [DAUGM4] Daugman, J., *Two-dimensional spectral analysis of cortical receptive field profiles*, *Vision Res.* 20 (1980) 847-856.
- [DAUGM5] 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.
- [DAUGM6] 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.
- [DAUGM7] Daugman, J., Downing, C.J., *Demodulation, predictive coding; and spatial vision*, *J. Opt. Soc. Am. A12* (1995) 641-660.
- [DONAHUE] M.J. Donahue and S.I. Rokhlin, *On the use of level curves in image analysis*, *Image Understanding*, vol.57, pp.652 – 655, 1992
- [DUDA1] R. O. Duda and P. E. Hart, *Pattern Classification and Scene Analysis*. New York: Wiley, 1973.
- [DUMI1] Dumitrescu, D., Costin, H., *Rețele neuronale. Teorie și aplicații*, Ed. Teora, pag.24-29, 1996.
- [EARLFLYNN] Earl F. Glynn, *Mixtures of Gaussians*, Earl F. Glynn, Stowers Institute for Medical Research 9 February 2007
- [ELUPU1] Lupu, E., Pop, P., Rusu, C., *Sistem biometric multimodal de autentificare, Studiu comparativ asupra verifcatorilor selectati, Metode și mijloace de achizitie a informatiilor biometrice, -sinteza-*, 2008, http://ares.utcluj.ro/PN2-ID-904_files/sinteza2008.pdf
- [FARINA1] Farina, Alessandro, Zsolt, M. Kovacs-Vajna, Leone, Alberto, *Fingerprint minutiae extraction from skeletonized binary images*, D.E.I.S., University of Bologna, Viale Risorgimento 2, I-40136 Bologna, Italy Received 26 June 1997, in revised form 25 June 1998
- [FBI1988] The Science of Fingerprints: Classification and Uses, United States Department of Justice, Federal Bureau of Investigation, Washington, DC, rev. (1988) 12-84.
- [FIELD1] D. Field. Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical cells. *Journal of the Optical Society of America*, 1987
- [FISHER1] R. A. Fisher, “The use of multiple measurements in taxonomic problems,” *Annals Eugenics*, vol. 7, no. 2, pp. 179–188, 1936.
- [FITZGRE1] Fitz, A.P., Green, R.J., *Fingerprint Classification Using Hexagonal Fast Fourier Transform*, *Pattern Recognition*, vol. 29, nr. 10, pg. 1587-1597, 1996
- [FLOM1] Flom, Leonard, Safir, Aran, *Iris recognition system*, United States Patent, Patent Number: 4.641.349, 1987.
- [GABOR1] Gabor, D., *Theory of communication*, *J. Inst. Electr. Eng.* 93 (1946) 429-457.
- [GELLERT1] Gellert, A., Brad, R., *Procesarea imaginilor – Aplicații* (<http://webpace.ulbsibiu.ro/arpad.gellert/html/PI.pdf>)
- [GEX1] Ge, X., Iwata, S., “Learning the parts of objects by auto-association”, *NeuralNetworks*, vol. 15, pp. 285-295, 2002
- [GRATTONI] – P.grattoni, A.Guiducci, *Contour Coding for Imge Description*, *Pattern Recognition Letters*, vol.11, No.2, February 1990, pp.95 – 105
- [HARALIK] R.M. Haralik, *Digital Step Edges from Zero Crossing of Second Directional Derivatives*, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.8, No.1, January 1986, pp. 58 – 68;
- [HAYKIN1] Haykin, S., *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Second Edition, IEEE Press, pag.8, 1999.

- [HAMZA] R.M.Hamza, “Distance iris recognition”, patent nr. 7,593,550 din 22 sept 2009
- [HARUOITO] Haruo Ito, *Iris Information Acquisition apparatus ad iris identification apparatus*, patent nr. 6,526,160 B1, 25 feb 2003
- [HENRY1] International Biometric Group, *The Henry Classification System*, 2003
- [HENRYCLEE] Henry C. Lee, R. E. Gaensslen, editors, *Advances in Fingerprint technology*, Elsevier, New York, 1991
- [HONGETALL] L.Hong, Y.Wan and A.K. Jain, *Fingerprint image Enhancement: Algorithms and Performance Evaluation*, IEEE Transaction onPAMI, Vol.20, No.8, pp. 777 – 789, Aug. 1998
- [HORN1] B. K. P. Horn, *Robot Vision*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
- [HOY1] Hoyer, P.O., “Non-negative matrix factorization with sparseness constraints”, *J.Machine Learning Research*, vol. 5, pp. 1457-1469, 2004
- [HTAMURA1] Tamura, H., *A comparison of line thinning algorithms from digital geometry viewpoint*, in Proc. of 4th Int. Joint Conf. on Pattern Recognition, Kyoto, Japan, pg. 715-719, 1978
- [HUERTAS] A.Huertas, G.Medioni, Detection of Intensity Changes with Subpixel Accuracy Using Laplacian – Gaussian Mask, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.8,No.5, September, 1986, pp.651 – 665.
- [HUNG1] Hung, D.C.D., *Enhancement and Feature Purification of Fingerprint Images*, Pattern Recognition, vol. 26, nr. 11, 1661-1671, 1993
- [IEEE1] *IEEE Spectrum*, vol. 41, no. 3, pp. 13, 2004
- [JAHNE1] B. Jahne, *Digital Image Processing*, 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1993.
- [JAIN1] Li, S., Jain, A.K., *Handbook of Face Recognition*, Springer, 2005
- [JAIN2] Jain, A.K., Hong, L., and Bolle, R. (1997), *On-Line Fingerprint Verification*, IEEE Trans. On Pattern Anal and Machine Intell, 19(4), pp.302 - 314
- [JAIN3] N.Ratha, S.Chen and A.K.Jain, *Adaptive Flow Orientation based feature Extraction in Fingerprint Images*, *Pattern recognition*, Vol. 28, pp.1657 – 1672, Nov.1995
- [JAIN4] L.C.Jain, U.Halici, I.Hayashi, S.B.Lee and S.Tsutsui, *Intelligent biometric techniques in fingerprint and face recognition, 1999*, *The CRC Press*
- [JAIN5], Jain, A.K., et all - *Fundamentals of digital image proccesing*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989
- [JAYANT1] N. S. Jayant and P. Noll, *Digital Coding of Waveforms*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984.
- [JERKER1] – Jerker, B., *Check for fingerprints*, United States Patent Application 20020050713
- [JOY1] Joy, K., *The DeBoor-Cox Calculation*, Visualization and Graphics Research Laboratory, 1997
- [KASS1] M. Kass, A Witkin, and D. Terzopoulos, “Snakes: Active contour models,” in *Proc. Int. Conf. Computer Vision*, London, England, 1987, pp. 259–268.
- [KASSWIT1] Kass, M., Witkin, A., *Analyzing Oriented Patterns*, Computer Vision, Graphics and Image Processing, vol. 37, nr. 3, pg. 362-385, 1987
- [KAWATOJO1] Kawagoe, M., Tojo, A., *Fingerprint Pattern Classification*, Pattern Recognition, vol. 17, pg. 295-303, 1997
- [KONG1] Kong, W., Zhang, D., *Accurate iris segmentation based on novel reflection and eyelash detection model*, Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing, Hong Kong, 2001.
- [KONG2] Kong, S.G., Heo, J., Abidi, B.R., Paik, J., Abidi, M.A., “Recent advances in visual and infrared face recognition—a review”, *Computer Vision Image Understansding*, vol. 97, pp. 103-135, 2005

- [KOVESI1] Kovesi, P., *MATLAB Functions for Computer Vision and Image Analysis*. (<http://www.cs.uwa.edu.au/~pk/Research/MatlabFns/index.html>)
- [KREU1] Kreutz, M., Volpel, B., Jansen, H., "Scale-Invariant Image Recognition Based on Higher Order Autocorrelation Features", *Pattern Recognition*, vol. 29, no. 1, pp.19-26, 1996
- [KURITA1] Kurita, T., Hotta, K., Mishima, T., "Scale and rotation invariant recognition method using high-order local autocorrelation features of log-polar image", *Proc.Asian Conf. on Computer Vision*, pp. 89-96, 1998
- [LAI1] Lai, J.H., Yuen, P.C., Feng, G.C., "Face Recognition Using Holistic Fourier Invariant Features", *Pattern Recognition*, vol. 34, pp. 95-109, 2001
- [LEE1] Lee, T., *Image representation using 2D Gabor wavelets*, IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 18, No. 10, 1996.
- [LEE2] Lee, D.D., Seung, H.S., "Learning the parts of objects by non-negative matrix factorization", *Nature*, 401, pp. 788-791, 1999
- [LEE3] Lee, C.J., and Wang, S.D., *Fingerprint feature extraction using Gabor filters*, Electron. Lett., 1999, 35, (4), pp.288 - 290
- [LI1] Li, S.Z., Hou, X.W., Zhang, H.J., "Learning spatially localized, parts-based representation", *Proc. CVPR*, 2001:48
- [LIBORMASEK1] Libor, Masek., *Recognition of Human Iris Patterns for Biometric Identification*, *The University of Western Australia*, 2003
- [LIM1] Lim, S., Lee, K., Byeon, O., Kim, T., *Efficient iris recognition through improvement of feature vector and classifier*, ETRI Journal, Vol. 23, No. 2, Korea, 2001.
- [LINHONG1] Lin Hong, *Automatic Personal Identification Using Fingerprints*, ph.D. Thesis, 1998
- [LIU1] Liu, X., Chen, T., Vijaya Kumar, B.V.K., "Face Authentication for Multiple Subjects Using Eigenflow", *CMU Technical Report AMP 01-05*, 2001
- [LIU2] Liu, C., Wechsler, H., "Independent component analysis of Gabor features for face recognition", *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 14, no. 4, pp. 919-928, 2003
- [LORENZO1] Lorenzo, V.L., *Fingerprint Minutiae Extraction Based On FPGA and MatLab*, 2003
- [MACMILL1] N. A. Macmillan and C. D. Creelman, *Detection Theory: A User's Guide*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1991.
- [MAIO1] D.Maio and D.Maltoni, *Direct gray-scale minutiae detection in fingerprints*, IEEE trans.Pattern Anal. And Machine Intell., 19(1):27-40, 1997
- [MALES1] Malleswara, R., *Feature Extraction for fingerprint classification*, Pattern Recognition, no. 8, pg. 181-192, 1976
- [MALTO1] Maltoni, D., Maio, D., Jain, A.K., Prabhakar, S., *Handbook of Fingerprint Recognition*, Springer, 2003
- [MARR1] D. Marr, *Vision*. New York: Freeman, 1982.
- [MARR2] D.Marr, E.C.Hildreth, Theory of Edge Detection, Proc. Royal Society of London Bulletin, vol.204, 1979, pp.301 - 328;
- [MASEK1] Masek, L., *Recognition of Human Iris Patterns for Biometric Identification*, B.E. Thesis, University of Western Australia, 2003
- [MAWA1] Ma, Y. Wang, T. Tan. Iris recognition using circular symmetric filters. National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, 2002.
- [MEHTRE1] Mehtre, B.M., *Fingerprint Image Analysis for Automatic Identification*, Machine Vision and Applications, vol. 6, nr. 2-3, pg. 124-139, 1993
- [MEL1] *Vladimir Melnic*, Sisteme electronice de supraveghere și control, <http://www.itcode.ro/?mg=cuprins&isbn=973-96225-5-0>

- [MITSUJI] Mitsuji Mathushita, Iris Identification system and iris identification method, patent nr. 5,901,238, 4 may 1999
- [MOGH1] Moghaddam, B. , "Principal Manifolds and Probabilistic Subspaces for Visual Recognition", *IEEE Trans. PAMI*, vol. 24, no.6, 2002
- [MOGOȘ1] Mogoș, G., Ianculescu, A., *Compendiu de anatomie și fiziologie a omului*, Ed. Științifică, Buc., pag.76, 1980.
- [MOLDO1] Moldovan, Maria Simina, *Aplicații ale analizei wavelet b-spline în biometrie*, Rezumatul tezei de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2011
- [MONGA89] O.Monga, R.Deriche, G.Malandain, Recursive Filtering and Edge Closing: Two Primary Tools for 3D Edge Detection, *Rapports de recherche*, INRIA, No.1103, octomber, 1989;
- [MVPOPA] Mircea Virgil Popa, Ștefan Demeter, Ramona Oancea, Alina Hangan, Prelucrarea numerică a imaginilor. Aplicații ale rețelelor neuronale în prelucrarea imaginilor
- [NANAV1] Nanavati, S., Thieme, M., Nanavati, R., *Biometrics – Identity verification in a networked world*, Wiley, 2002
- [NALINI1] Nalini K. Ratha, *Adaptive Flow Orientation Based Feature Extraction in Fingerprint Images, 1995* , ftp://ftp.cps.msu.edu/pub/prip/ratha/feat_ext.ps.gz
- [NEDEV] S.Nedeveschi, *Prelucrarea imaginilor și recunoașterea formelor*, Ed.albastra, Cluj-Napoca, 1998
- [NIST1] C.I. Watson, C.L. Wilson, NIST Special Database 4, Fingerprint Database, National Institute of Standard and Technology, 1992
- [NOH1] Noh, S., Pae, K., Lee, C., Kim, J., *Multiresolution independent component analysis for iris identification*, The 2002 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, Phuket, Thailand, 2002.
- [OGORMNICK1] O’Gorman, L., Nickerson, J.V., *An Approach to Fingerprint Filter Design*, *Pattern Recognition*, vol. 22, nr. 1, pg. 29-38, 1989
- [OLORIZ1] Oloriz, Jukegistro, *Manual de identitate*
- [OPPEN1] Oppenheim, A., Lim, J., *The importance of phase în signals*, *Proceedings of the IEEE* 69, 529-541, 1981.
- [OPREA1] Oprea, D., *Protecția și securitatea informațiilor*, Polirom, Iași, 2003
- [ORT1] Ort, James R., et. al, Fingerprint identification system, patent nr. 5,926,555
- [PACO1] Gheorghe Pășescu, Ion. R. Constantin, *Secretele amprentelor papilare*, Editura Național, 1996
- [PENEV1] Penev, P., Atick, J., "Local feature analysis: A general statistical theory for object representation", *Network: Computation în Neural Systems*, vol. 7, no. 3, pp. 477-500, 1996
- [PENTL1] Pentland, A., Moghaddam, B., Starner, T., "View-based and modular eigenspaces for face recognition", *Proc. CVPR*, pp. 84-91, 1994
- [PIOT1] Piotrowski, L.N., Campbell, F.W., "A demonstration of the visual importance and flexibility of spatial-frequency, amplitude, and phase", *Perception*, vol. 11, pp. 337-346, 1982
- [PIZER1] Pizer, S., Adaptive histogram equalization and its variations, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Volume 39, Issue 3, September 1987, Pages 355–368
- [POH1] Poh, N., Bengio, S., An investigation of *F-ratio Client-Dependent Normalisation on Biometric Authentication Tasks*, în *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, volume 1, pg. 721-724, Philadelphia, SUA, 2005
- [PRATT1] W. K. Pratt, *Digital Image Processing*. New York: Wiley, 1978.
- [RADUGABRIELDANESCU] – Radu Gabriel Danescu, suport de curs, *Procesarea Imaginilor*, Curs 10 (Detectia muchiiilor), pagina 1

- [RATHA1] N.K. Ratha, S. Chen, A.K. Jain, Adaptive flow orientation-based feature extraction in fingerprint images, *Pattern Recognition* 28 (1995) 1657.
- [RITTER1] Ritter, N., *Location of the pupil-iris border in slit-lamp images of the cornea*, Proceedings of the International Conference on Image Analysis and Processing, 1999.
- [RONAJA1] Ross, A., Nandakumar, K., Jain, A.K., *Handbook of Multibiometrics*, Springer, 2006
- [SANDER1] Sanderson, S., Erbetta, J., *Authentication for secure environments based on iris scanning technology*, IEEE Colloquium on Visual Biometrics, 2000.
- [SAYO1] Sayood, K., "Introduction to Data Compression", Morgan Kaufmann Publishers, 2000
- [SENIOR1] Senior, A., *System and method for transforming fingerprints to improve recognition*, patent nr. 6466686
- [SHAN1] Shan, S., Chang, Y., Gao, W., Cao, B., "Curse Of Mis-Alignment in Face Recognition: Problem And A Novel Mis-Alignment Learning Solution", *Proc.AFGR*, pp. 314-320, 2004
- [SHARAT1] Sharat, C., *Fingerprint Image Enhancement Using STFT Analysis*, 2004
- [SHERL1] Sherlock, B.G., *Computer Enhancement and Modeling of Fingerprint Images*, in *Automatic Fingerprint Recognition System*, Springer-Verlag, 2004
- [SHERL2] Sherlock, B.G., Monro, D.M., *A Model for Interpreting Fingerprint Topology*, *Pattern Recognition*, vol. 26, nr. 7, pg. 1047-1055, 1993
- [SHERL3] Sherlock, B.G., Monro, D.M., Millard, K., *Fingerprint enhancement by directional Fourier filtering*, *IEE Proc. Vis. Image Signal Processing*, 141(2):87-94, April 1994
- [SIMA1] Simard, P.Y., Le Cun, Y.A., Denker, J.S., Victorri, B., "Transformation Invariance in Pattern Recognition – Tangent Distance and Tangent Propagation", *Int. J. Imaging System and Technology*, vol. 11, Issue 3, pp. 181-194, 2001
- [SOVIANY1] Sorin SOVIANY, Gheorghită PESCARU, Mihaela TACHE, *Securizarea accesului la sisteme de comunicații prin metode de identificare biometrică*, TELECOMUNICAȚII, Anul LII, nr. 1/2009
- [SPIL1] Spilcă, A., *Sisteme dedicate automate cu comandă vocală realizate cu rețele neurale*, Teză de doctorat, Universitatea "POLITEHNICA" Timișoara, 2000.
- [SRIMUR1] Srinivasan, V.S., Murthy, N.N., *Detection of Singular Points in Fingerprint Images*, *Pattern Recognition*, vol. 25, nr. 2, pg. 139-153, 1992
- [STOSALY1] Stosz, J.D., Alyea, L.A., *Automated System for Fingerprint Authentication Using Pores and Ridge Structure*, *Proc. of SPIE (Automated Systems for the Identification and Inspection of Humans)*, vol 2277, pg. 210-223, 1994
- [SWE1] Swets, J.A., Tanner, W.P., Birdsall, T.G., *Decision Processes in Perception*, *Psychological Review*, 68(5):301-340, 1961
- [TANNER1] W. P. Tanner and J. A. Swets, "A decision-making theory of visual detection," *Psychol. Rev.*, vol. 61, pp. 401–409, 1954.
- [THOETALL] Thomas Yeo, Wee Peng Tay, Ying Yu Tai, *Image Systems engineering Program*, Stanford university, 2008, Student project
- [TIBERIUMARITA] Tiberiu Marita, *Procesarea imaginilor (Suport de curs)*, Technical University of Cluj
- [TICOETALL] M.Tico, P.Kuosmanen and J. Saarinen, *Wavelet domain features for fingerprint recognition*, *Electroni. Lett.*, 2001, 37, (1), pp.21 – 22.
- [TISSE1] Tisse, C., Martin, L., Torres, L., Robert, M., *Person identification technique using human iris recognition*, International Conference on Vision Interface, Canada, 2002.
- [TODER1] Todorean, G., Coșteiu, M., Giurgiu, M., *Rețele neuronale*, Ed. Microinformatica, Cluj-Napoca, pag.46, 1994.

- [TRUCCO] Trucco, E., Verry, A. *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*, Prentice Hall, 1998
- [TSAKAI1] Sakai, T., Nagao, M., Matsushima, H., *Extraction of invariant picture sub-structures by computer*, *Computer Graphics and Image Processing*, 1(1):81-96, 1972
- [TUN1] Tun, N., *Recognising Iris Patterns for Person (or Individual) Identification*, Honours thesis. The University of Western Australia. 2002.
- [TURK1] Turk, M., Pentland, A.P., "Eigenfaces for recognition", *J. of Cognitive Neuroscience*, vol. 3, no. 1, pp. 71-86, 1991
- [UCHIDA1] – Uchida, K., Patent nr. 6,324,297 – Skin pattern feature extracting apparatus
- [VAJNA1] Zs.M. Kovács-Vajna, M. Frazzoni, R. Rovatti, *Fingerprint ridge distance computation methodologies*, *Pattern Recognition* (1997) submitted.
- [VATSA] M.Vatsa, R. Singh, A.Noore, *Improving Iris Recognition Performance Using Segmentation, Quality Enhancement, Match Score Fusion, and Indexing*, *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, IEEE Transactions on, Aug. 2008
- [VIZCAYA1] Vizcaya, Pedro, Gerhardt , Lester, *A nonlinear orientation model for global description of fingerprints*, Electrical, Computer, and Systems Engineering Department, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY 12181, U.S.A.
- [WAHL1] Wahl, F.M. – *Digital image signal processing*, Artech, Boston, 1987
- [WILDES1] Wildes, R., *Iris recognition: an emerging biometric technology*, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 85, No. 9, 1997.
- [WILDES2] Wildes, R., Asmuth, J., Green, G., Hsu, S., Kolczynski, R., Matey, J., McBride, S., *A system for automated iris recognition*, *Proceedings IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, Sarasota, FL, pp. 121-128, 1994.
- [WISK1] Wiskott, L., Fellous, J.-M., Kruger, N., von der Malsburg, C., "Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching", *IEEE Trans. PAMI*, vol. 17, no. 7. pp. 775-779, 1997
- [WOLFF1] Wolff, E., *Anatomy of the Eye and Orbit*. 7th edition. H. K. Lewis & Co. LTD, 1976.
- [WU1] Wu, J., Zhou, Z.H., "Face recognition with one training image per person", *Pattern Recognition Letters*, vol. 23, pp. 1711-1719, 2002
- [WU2] Wu, C., *Advanced feature extraction algorithms for automatic fingerprint recognition system*
- [WUZHILI] Wu, Zhi-Li, *Fingerprint recognition*, Teză de licență, Hong Kong Baptist University, Aprilie 2002 (disponibilă pe pagina <http://www.comp.hkbu.edu.hk/~vincent/resPaper.htm>)
- [XIAORAA1] Xiao, Q., Raafat, H., *Fingerprint Image Post-Processing: A Combined Statistical and Structural Approach*, *Pattern Recognition*, vol. 24, nr. 10, pg. 985-992, 1991
- [YILM1] Yilmaz, A., Gokmen, M. , "Eigenhill vs. eigenface and eigenedge", *Pattern Recognition*, vol. 34, pp. 181-184, 2001
- [IANTYOUNGETALL] ian T. Young, Lucas J. van Vliet, and Michael van Ginkel, *Recursive Gabor filtering*, *IEEE Transactions on signal processing*, vol.50, no.11, nov.2002
- [YUILLE1] A. L. Yuille, P. Hallinan, and D. Cohen, "Feature extraction from faces using deformable templates," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 8, no. 2, pp. 99–112, 1992.
- [ZHAO1] Zhao, W., Chellappa, R., Rosenfeld, A., Phillips, P.J., "Face Recognition: A Literature Survey", *ACM Computing Surveys*, pp. 399-458, 2003
- [ZHU1] Y. Zhu, T. Tan, Y. Wang. Biometric personal identification based on iris patterns. *Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition*, Spain, Vol. 2, 2000