

TEZĂ DE DOCTORAT

*Contribuții la elaborarea
corelatoarelor optice și hibride*

TFA.
BIBLIOTECĂ CENTRALĂ
volum 644.705
nr. 369 E

Conducător științific
Prof. dr. ing. Sever CRIȘAN

Autor
Fiz. Alin C. TEUȘDEA

2004

Cuvânt înainte

Lucrarea de față se dorește o contribuție modestă la elaborarea corelatoarelor optice și hibride în domeniul amplitudinii și fazei cu transformată Fourier comună care se utilizează la recunoașterea de forme din prelucrarea de imagini.

Primele cunoștințe în acest domeniu le-am dobândit sub îndrumarea distinsului Prof. dr. Nicolae Avram, al cărui student și asistent am fost la Facultate de Fizică din cadrul Universității de Vest din Timișoara și căruia îi mulțumesc pe această cale. Totodată țin să mulțumesc foștilor colegi de catedră din această facultate alături de care mi-am îmbogățit experiența profesională.

Îmi exprim recunoștința și față de colegii și prietenii: Adrian Budura, Leontin Pop, Gh. Drăgănescu, Daniela și Romeo Resiga.

În elaborarea lucrării de față am avut privilegiul de a fi îndrumat de distinsul Prof. dr. ing. Sever Crișan, de la Catedra de Măsurări și Electronică Optică a Facultății de Electronică și Telecomunicații din cadrul Universității „Politehnica” din Timișoara. Îi mulțumesc în mod deosebit că m-a acceptat și m-a îndrumat cu multă competență profesională și răbdare, împărtășindu-mi cu generozitate din bogata sa experiență.

Familiei mele

Cuprins

Cuvânt înainte	3
1. Introducere	9
2. Transformata Fourier în corelația optică și recunoașterea de forme	15
2.1 Clasificarea fenomenelor de difracție din teoria scalară a difracției	15
2.2 Realizarea transformatei Fourier în optică	18
2.3 Recunoașterea de forme prin corelație optică clasică	22
2.3.1 Corelatorul 4f Vander Lugt cu filtru ideal (numeric)	24
2.3.2 Corelatorul 4f Vander Lugt cu filtru holografic clasic (holografic, neideal matematic)	30
2.4 Concluzii	32
3. Corelatoare optice și hibride în domeniul amplitudinii cu transformată comună	35
3.1 Introducere	35
3.2 Corelatorul optic cu transformată comună clasic (COTC-CL)	37
3.3 Corelatorul optic cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine (COTC-FmA)	40
3.4 Corelatorul hibrid cu transformată comună modificat cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA)	45
3.5 Metoda practică de realizare a corelatorului hibrid cu transformată comună, modificat și cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA)	49
3.6 Simularea pe calculator a recunoașterii de forme corelatoarele optice și hibride în domeniul amplitudinii cu transformată comună	51
3.7 Rezultatele simulării numerice a recunoașterii de forme cu corelatoarele	54

optice și hibride în domeniul amplitudinii cu transformată comună	
3.8 Concluzii	60
4. Corelatoare optice și hibride în domeniul fazei cu transformată comună	65
4.1 Introducere	65
4.2 Transformarea din domeniul amplitudinii în domeniul fazei	66
4.3 Corelatorul optic în domeniul fazei cu transformată comună modelul clasic (FCOTC-CL)	68
4.4 Corelatorul optic în domeniul fazei cu transformată comună cu filtru modulat în amplitudine (FCOTC-FmA)	76
4.5 Corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-MFmA)	79
4.6 Corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu intrarea preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA)	82
4.7 Metoda practică de realizare a corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu intrarea preprocesată, modificat și cu filtru de amplitudine (FCHTC - preMFmA)	89
4.8 Rezultatele simulării numerice a recunoașterii de forme cu corelatoarele cu transformată comună, în domeniul fazei	91
4.9 Concluzii	98
5. Evaluarea și analiza performanțelor corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA)	105
5.1 Introducere	105
5.2 Evaluarea performanțelor la recunoașterea de forme ale corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA) în funcție de geometria imaginii scenei	110
5.3 Evaluarea performanțelor corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA) în prezența zgomotului aditiv	119
5.4 Evaluarea performanțelor corelatorului hibrid în domeniul fazei cu	133

transformată comună (FCHTC-preMFmA) la iluminarea laterală	
5.5 Evaluarea performanțelor corelatorului (FHTC-preMFmA) la rotația în plan a imaginii martor	143
5.6 Analiza performanțelor la recunoașterea de forme și a robusteții corelatoarelor hibride cu transformată comună	151
5.6.1 Analiza comparativă a performanțelor de recunoaștere de forme între corelatoarele hibride cu transformată comună în funcție de geometria imaginii comune	151
5.6.2 Analiza comparativă a robusteții la zgomotul aditiv a corelatoarelor hibride cu transformată comună în domeniul amplitudinii și modelele propuse în domeniul fazei	153
5.6.3 Analiza comparativă a robusteții la iluminarea laterală a corelatoarelor hibride cu transformată comună în domeniul amplitudinii și modelele propuse în domeniul fazei	156
5.6.4 Analiza comparativă a robusteții la rotație a corelatoarelor hibride cu transformată comună în domeniul amplitudinii și modelele propuse în domeniul fazei	159
5.8 Concluzii	162
6. Aplicații	165
6.1 Aplicații ale recunoașterii de forme în determinarea identității persoanelor după amprente digitale	165
6.2 Aplicații ale recunoașterii de forme în identificarea gândacilor de scoarță după arhitectura galeriilor	173
6.2.1 Introducere	173
6.2.2 Metoda practică de amprentare a galeriilor larvare	177
6.2.3 Rezultate și concluzii	177
7. Contribuții originale, concluzii și perspective	183
Bibliografie	189
Anexa 1	199

Anexa 2	203
Anexa 3	215
Lista figurilor	221
Lista tabelelor	225

Capitolul 1.

Introducere

Domeniul prelucrării imaginilor s-a dezvoltat în ultimele decenii atât de mult și rapid încât a devenit unul de sine stătător și cu aplicații în majoritatea domeniilor care utilizează imaginile ca suport de evaluare sau analiză. Informația cuprinsă în imagini poate fi prelucrată atât pe cale optică – prelucrarea optică a imaginilor (informației) – cât și digital – prelucrarea digitală a imaginilor – cu ajutorul calculatorului, sau hibrid prin combinarea celor două metode, optică și digitală, pentru obținerea unor precizii de prelucrare mai mari. Revoluția prelucrării imaginilor a fost facilitată și de evoluția rapidă a tehnologiilor laser, optoelectronicii și a tehnicii de calcul (calculatoarelor), care a dus la scăderea costurilor acestor echipamente, iar acest domeniu a devenit unul eficient și din punct de vedere economic.

Prelucrarea imaginilor cuprinde printre altele: codarea imaginilor, îmbunătățirea imaginilor, restaurarea imaginilor, analiza și recunoașterea imaginilor, reconstrucția imaginilor din proiecții, compresia imaginilor. După cum s-a spus aceste prelucrări de imagini se pot realiza optic, digital sau hibrid. Aceste subdomenii se clasifică în două grupuri:

- procesarea de nivel jos, care nu necesită o cunoaștere *a priori* a informației din imagine, cum ar fi compresia de imagini, preprocesarea pentru filtrare, îmbunătățirea, extragerea și segmentarea conturilor;
- procesarea de nivel înalt, care necesită o cunoaștere *a priori* a informației din imagine pentru a putea fi procesată în vederea interpretării.

Prelucrarea optică a imaginilor și implicit a informației a început cu primele experimente realizate pentru analiza formării imaginilor de către Ernst Abbe (1873), John William Strutt - lord Rayleigh (1871). Partea de optica modernă are ca punct de start aplicarea transformării Fourier în optică de către Pierre-Michel Duffieux (1930) și a metodelor de punere în evidență a obiectelor de fază prin filtrarea spațială, Frits Zernicke (1935). Evoluția continuă cu dezvoltarea filtrării spațiale coerente,

holografia Fourier (cu aplicare în filtrarea și memorarea holografică), procesoarele hibride optoelectronice, stocarea optică a informației. Toate aceste prelucrări optice a imaginilor (informației) au la bază transformarea Fourier. Optic această transformare se realizează cu ajutorul unei lentile convergente, transformata Fourier obținându-se cu distorsiuni de fază pentru situația în care obiectul și imaginea sunt localizate în cele două plane focale (numite și plane Fourier). Coordonatele din planul Fourier în care se realizează transformata Fourier se numesc frecvențe spațiale care reflectă variațiile intensității luminoase în funcție de distanțele spațiale.

Recunoașterea de forme face parte din domeniul prelucrării de imagini, și presupune detecția unei imagini numită *referință* într-o altă imagine numită *scenă*. Acest proces poate fi realizat prin metode digitale sau optice. Metodele digitale sunt bazate pe prelucrări statistice locale la nivel de pixeli sau blocuri de pixeli ale imaginilor sub formă digitală, cu ajutorul calculatorului. Aceste metode au avantajele de a fi versatile și unele chiar robuste la deformări spațiale ale imaginii de referință. Metodele optice de recunoaștere de forme sunt bazate pe filtrarea spațială adaptată (cu corelatoare de tip 4f Vander Lugt - 1964) și corelație optică cu corelatoare cu transformată Fourier comună. Utilizarea transformatei Fourier nu mai conferă robustețe acestor metode la deformări spațiale, ele necesitând o adaptare suplimentară cu consum de timp. Ambele metode optice utilizează *maximele* intensității luminoase rezultate din procesul de corelație pentru a realiza detecția sau recunoașterea de forme, adică discriminarea dintre imaginea de referință și restul imaginilor. Recunoașterea de forme prin filtrare adaptată utilizează mai multe variante de filtre: Vander Lugt, de fază, binare de fază.

Corelatorul optic cu transformată Fourier comună (COTC – JTC în limba engleză, de la Joint Transform Correlator) a fost propus pentru prima dată de Weaver și Goodman în 1966 și reprezintă soluția cea mai utilizată în sistemele de recunoaștere de forme (fig. 3.1). Acest model de corelator este realizabil optic cu un modulator spațial în amplitudine a luminii (SLM – Spatial Light Modulator) comandat digital cu ajutorul unui calculator (a se vedea anexa 1). Imaginea comună de intrare, a unui corelator cu transformată comună, conține în jumătatea superioară – de exemplu – imaginea de referință, iar în jumătatea inferioară imaginea scenei, și este localizată în planul focal al unei lentile convergente sau planul de intrare. Lentila convergentă va realiza transformarea Fourier a imaginii comune, iar în planul focal de ieșire, sau *planul Fourier al frecvențelor spațiale*, se va obține spectrul de putere comun al imaginii comune de intrare. Videocapturarea cu o cameră CCD a spectrului de putere comun, oferă posibilitatea stocării sub formă digitală a acestuia și proiectarea optică a sa cu un modulator de amplitudine a luminii (SLM) în planul focal de intrare al lentilei convergente. Rezultatul acestei proiecții optice cu un fascicul laser coerent este obținerea în planul focal de ieșire a corelației dintre imaginea de referință și cea a scenei.

Unul din avantajele corelatorului optic cu transformată comună (COTC), față de corelatorul cu filtrare adaptată, este că nu necesită realizarea filtrului imaginii de referință de fiecare dată când se schimbă referința. Cel mai important avantaj este însă că modelul de corelator cu transformată comună este robust la alinierea axelor optice a componentelor sistemului optic ce-l compun. Nealinierea acestor axe optice în cazul corelatorului cu filtrare adaptată produce eșuarea procesului de corelație și implicit cel al recunoașterii de forme.

Performanțele unui corelator optic cu transformată comună (COTC) depind în mare măsură de performanțele optice ale modulatorului de amplitudine (SLM) care se utilizează. Obținerea unor performanțe la recunoașterea de forme cât mai mari presupune următoarele proprietăți ale modulatorilor de amplitudine a luminii (SLM):

- o rezoluție (definiție) cât mai mare a celulelor care realizează modularea spațială a luminii,
- o adâncime de modulare a nivelurilor de intensitate cât mai mare (uzual aceasta este de 256 de niveluri de gri),
- un control al aberațiilor optice ale modulării de amplitudine și de fază cât mai precis.

Revoluția sistemelor de calcul și a tehnologiei a dus la realizarea unor corelatoare cu transformată ce utilizează operații matematice digitale (cu ajutorul calculatorului) pentru a îmbunătăți performanțele de recunoaștere de forme prin corelație. Aceste operații digitale, care în mare parte pot realiza operații cu filtre ideale matematic, sunt realizate într-un timp destul de mare și ca atare scad posibilitatea aplicării acestor corelatoare în aplicații în timp real pentru care corelatoarele optice funcționează practic la viteza cea mai mare, dar care utilizează în mare parte operații de filtrare cu filtre holografice neideale matematic.

Introducerea corelatoarelor *hibride* (optice/digitale) cu transformată comună (CHTC) (fig. 3.9), a făcut posibilă exploatarea avantajelor celor două tipuri de corelatoare mai sus menționate. Spectrul de putere comun obținut pe cale optică în planul Fourier al lentilei convergente este videocapturat și memorat sub formă digitală (matrice), formă sub care este prelucrat prin operații matematice digitale, cu ajutorul calculatorului, în vederea îmbunătățirii performanțelor la recunoașterea de forme. Spectrul de putere comun prelucrat va fi proiectat optic cu un modulator de amplitudine a luminii localizat în planul focal de intrare al lentilei convergente. În planul Fourier al lentilei convergente se obține rezultatul procesului de corelație care în acest caz se presupune că prezintă o discriminabilitate mai mare între imaginea de referință și cele din imaginea scenei care nu reprezintă referința, adică performanțe mai bune la recunoașterea de forme.

Corelatoarele optice sau hibride cu transformată comună care utilizează transformata Fourier, (după cum se și numesc) sunt robuste la translația spațială prin definiție. Deformări ale imaginilor, cum

ar fi rotația, scalarea, prezența zgomotului aditiv sau iluminarea laterală, modifică imaginea *martor* (rezultată prin deformarea referinței) localizată în imaginea scenei și pot duce la eșuarea procesului de recunoaștere de forme. Eșuarea procesului de recunoaștere de forme este marcată de faptul că maximul de autocorelație, obținut în corelația dintre imaginea de referință și cea martor, are intensitatea mai mică decât maximele de corelație dintre imaginea de referință și restul imaginilor componente ale imaginii scenei diferite de imaginea martor. Fiecare din deformările amintite anterior necesită în general o modificare specială a corelatoarelor optice sau hibride cu transformată comună, cu eforturi de realizare suplimentare.

Analiza de mai sus ne permite să afirmăm că adoptarea corelatorului hibrid cu transformată comună realizează un proces de recunoaștere de forme într-un interval de timp comparabil cu cel al corelatoarelor optice cu transformată comună și robuste la anumite deformări, prin prelucrarea digitală cu ajutorul calculatorului, adică are cele mai bune performanțe la recunoașterea de forme.

Lucrarea de față are ca scop dezvoltarea și elaborarea unui corelator hibrid cu transformată comună care să prezinte performanțe îmbunătățite la recunoașterea de forme față de cele existente până acum și care să fie adaptabil pentru a mări robustețea la deformările amintite anterior. Structura acestei lucrări are șapte capitole și trei anexe.

Procesul de recunoaștere de forme realizat prin corelație optică cu corelatoarele optice sau hibride cu transformată comună au la bază fenomenul de difracție a luminii. Difracția luminii descrisă prin formalismul scalar (Kirchoff, Rayleigh, Sommerfeld), în aproximația Fraunhofer are ca rezultat transformata Fourier a obiectului studiat. Realizarea fizică a condițiilor pentru aproximația Fraunhofer necesită distanțe spațiale nerealizabile practic în sistemele optice. Anterior s-a menționat că o variantă de realizare a transformatei Fourier pe cale optică este de a plasa obiectul de studiat în planul focal obiect al unei lentile convergente, transformata Fourier a acestuia fiind obținută în planul focal imagine (sau planul Fourier) al lentilei. Teoria pe care se bazează aceste afirmații este prezentată la începutul capitolului 2 al lucrării. În finalul acestui capitol sunt prezentate corelația optică prin filtrare adaptată și corelatorul de tip 4f Vader Lugt cu filtru ideal matematic și filtru holografic (neideal matematic) cu avantajele și dezavantajele acestora.

Corelatoarele optice și hibride în domeniul amplitudinii cu transformată comună sunt prezentate teoretic și practic, printr-un exemplu de imagine comună de intrare, în ordinea cronologică a dezvoltării lor, în prima parte a capitolului 3. Modelele de corelatoare studiate sunt:

- corelatorul optic cu transformată comună clasic, (COTC-CI),
- corelatorul hibrid cu transformată comună cu filtru modulat în amplitudine, (CHTC-FmA),

- corelatorul hibrid cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine, (CHTC-MFmA).

Evaluarea performanțelor la recunoașterea de forme a necesitat introducerea unui parametru cantitativ, coeficientul de eficiență la detecție, CED , care este raportul dintre intensitatea maximului de autocorelație, IMA , și valoarea cea mai mare a intensității maximelor de corelație, IMC . Rezultatele procesului de recunoaștere de forme pentru cele trei modele de corelatoare în domeniul amplitudinii cu transformată comună s-au realizat cu un set de imagini comune de intrare care includ anumite condiții (zgomot aditiv, geometria imaginii comune) prezente și în realitatea fizică. În finalul capitolului 3 s-au analizat comparativ performanțele la recunoașterea de forme pentru cele trei modele de corelatoare în domeniul amplitudinii cu transformată comună.

Posibilitatea utilizării unui modulator de fază a luminii (PSLM – Phase Spatial Light Modulator) în locul celui de amplitudine duce la introducerea unei *transformate de fază* a imaginii comune de intrare din domeniul amplitudinii în domeniul fazei. Această transformată de fază face trecerea din domeniul amplitudinii, modulată cu un SLM în 256 de niveluri de gri a intensității luminoase, în domeniul fazei, modulată cu un PSLM în 256 de nivele de fază a unui domeniu de fază notat cu $dfPSLM$, specific fiecărui model de modulator PSLM în parte. Corelatoarele optice sau hibride cu transformată comună care folosesc un modulator de fază a luminii, PSLM, se vor numi corelatoare în domeniul fazei optice sau hibride cu transformată comună (FCOTC, respectiv FCHTC). Aceste modele de corelatoare în domeniul fazei au imaginea comună transformată în fază, principiul procesului de recunoaștere de forme fiind preluat de la modelele omoloage din domeniul amplitudinii. Din punct de vedere fizic această transformare este practic o scalare între domeniul de modulare al intensității luminoase (amplitudinii) și domeniul de modulare al fazei, $dfPSLM$. În capitolul 4 se descrie matematic transformata de fază și modul în care se modifică tot matematic teoria procesului de corelație la trecerea celor trei modele de corelatoare din domeniul amplitudinii în domeniul fazei. Modelele de corelatoare în domeniul fazei cu transformată comună, prezentate în ordinea cronologică a dezvoltării lor, sunt:

- corelatorul optic în domeniul fazei cu transformată comună clasic, (FCOTC-CL),
- corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu filtru modulat în amplitudine, (FCHTC-FmA),
- corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine, (FCHTC-MFmA),
- corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imagine comună de intrare preprocesată, modificat și cu filtru modulat în amplitudine, (FCHTC-preMFmA).

Evaluarea performanțelor la recunoașterea de forme pentru modelele de corelatoare în domeniul fazei s-a efectuat în mod asemănător cu cea din cazul modelelor de corelatoare în domeniul amplitudinii, prin considerarea aceluiași set de imagini comune de intrare. Analiza comparativă de la finalul capitolului 4 include și rezultatele obținute pentru modelele de corelatoare în domeniul amplitudinii.

Condițiile fizice ale aplicațiilor reale impun recunoașterea, printr-o imagine de referință, a unor imagini de tip martor, obținute prin deformarea referinței, care fac parte din aceeași clasă cu referința, numită *clasa referinței*. Acest proces de recunoaștere de forme *intra-clasă* trebuie să asigure simultan și discriminabilitatea dintre imaginile din clasa referinței și imaginile din clase diferite de cea a referinței. Evaluarea corectă a acestui proces de recunoaștere de forme a impus introducerea unui *coeficient de eficiență la detecție intra-clasă*, suplimentar. Cei doi coeficienți de eficiență la detecție, s-au utilizat la evaluarea performanțelor la recunoașterea de forme la diferite deformări: în funcție de geometria imaginii scenei, în prezența zgomotului aditiv, la iluminarea laterală și la rotație. Toate aceste evaluări de performanțe au fost realizate detaliat, în capitolul 5, pentru corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imagine comună de intrare preprocesată, modificat și cu filtru modulat în amplitudine, (FCHTC-preMFmA). La finele capitolului 5 se prezintă analiza comparativă a performanțelor la recunoașterea de forme pentru trei din cele șapte modele de corelatoare hibride cu transformată comună. Aceste trei modele de corelatoare hibride cu performanțe lecele mai bune la recunoașterea de forme sunt:

- corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine, (CHTC-MFmA),
- corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine, (FCHTC-MFmA),
- corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imagine comună de intrare preprocesată, modificat și cu filtru modulat în amplitudine, (FCHTC-preMFmA).

Două aplicații ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, (FCHTC-preMFmA), sunt prezentate în capitolul 6. Prima aplicație este cea de determinare a identității persoanelor după amprente digitale, iar a doua este identificarea și clasificarea gândacilor de scoarță după arhitectura galeriilor larvare.

Capitolul 7 prezintă o sinteză a tezei, a rezultatelor obținute, a contribuțiilor personale aduse la elaborarea corelatoarelor optice și hibride cu transformată comună și a perspectivelor de dezvoltare a unor aplicații și a unor adaptări suplimentare la alte deformări a imaginilor martor pentru aceste modele de corelatoare cu transformată comună.

Capitolul 2.

Transformata Fourier în corelația optică și recunoașterea de forme

Punctul fizic de plecare al opticii moderne Fourier este difracția luminii în aproximația Fraunhofer-Fourier. Având în vedere faptul că în această lucrare se vor propune unele scheme de realizare practică a unor corelatoare optice și hibride, în acest capitol se vor prezenta unele noțiuni de bază ale difracției luminii cu intenția de a se înțelege corelația optică care o utilizează. Anumite detalii ale acestor două fenomene optice sunt prezentate în tratatele de specialitate [1-4] și articole științifice de specialitate [5-12].

2.1 Clasificarea fenomenelor de difracție din teoria scalară a difracției

Prima încercare de explicare a fenomenului de difracție este cea a lui Christian Huygens, în 1678, bazată pe teoria ondulatorie a luminii. În 1818, Augustin Fresnel combină principiul intuitiv al lui Huygens și principiul interferenței lui Young pentru a realiza o teorie ondulatorie cantitativă a difracției luminii [1-5].

Pornind de la o descriere riguroasă a câmpului electromagnetic al luminii bazată pe ecuațiile lui Maxwell, fizicienii Kirchoff, Rayleigh și Sommerfeld, au dezvoltat între anii 1880 și 1900 o teorie scalară a difracției luminii [1-5]. Rezultatele acestei teorii concordă cu cele experimentale, iar calculele complete în aceste cazuri sunt și până acum cele mai consecvente. Poate că este potrivit de menționat faptul că în prezent, de ultimă oră sunt încercările de a implementa digital, prin simulare pe calculator în algoritmi ultrarapizi și unitari, întreg fenomenul de difracție în aproximațiile Rayleigh-Sommerfeld

și Fresnel-Kirchoff [5]. Aceste aproximații presupun dimensiuni fizice extrem de mici ale senzorilor optici și propagări pe distanțe ce presupun o precizie înaltă. Ele se utilizează în sisteme CAD (Computer Aided Design – Proiectare asistată pe calculator) optice pentru procesări optoelectronice în scopul realizării de procesoare optice cu aplicații în diverse domenii.

Utilizarea mai facilă a formulelor teoretice ale difracției în cazurile practice impune considerarea unor aproximații.

Să presupunem că un fascicul de lumină coerentă monocromatică este difractat de o apertură Σ , aflată într-un plan opac P_i , iar punctul de observație M_e se află într-un plan P_e paralel cu cel inițial și aflat la distanța z de acesta (Fig. 2.1). Din formula de difracție Rayleigh-Sommerfeld [1-4, 9], câmpul luminos în planul P_e va fi

$$a(x_e, y_e) = \int_{\Sigma} h(x_e, y_e; x, y) \cdot a(x, y) dx dy \quad (2.1)$$

unde s-a utilizat funcția de transfer a sistemului optic studiat

$$h(x_e, y_e; x, y) = \frac{1}{i\lambda} \cdot \frac{e^{ikr_e}}{r_e} \cdot \cos(\vec{n}, \vec{r}_e), \quad (2.2)$$

în care λ este lungimea de undă a luminii monocromatice utilizate, iar $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, este modulul vectorului de undă. Condițiile la limită ale lui Kirchoff impuse relației (2.1), schimbă limitele de integrare a amplitudinii luminii, rezultând relația

$$a(x_e, y_e) = \int_{-x}^x \int_{-x}^x h(x_e, y_e; x, y; z) \cdot a(x, y) dx dy, \quad (2.3)$$

care va ajuta la interpretarea fizică a unor rezultate ulterioare.

Având în vedere unele aspecte practice ale fenomenului de difracție, se va face următoarea aproximație asupra dimensiunilor fizice ale regiunii de observare (considerată într-o zonă finită) și ale aperturii Σ : ele sunt mult mai mici decât distanța z dintre cele două plane P_i și P_e . În această situație factorul de oblicitate devine

$$\cos(\vec{n}, \vec{r}_e) \cong 1 \quad (2.4)$$

și luând chiar $|\vec{r}_e| \cong z$, funcția de transfer va fi scrisă astfel

$$h(x_e, y_e; x, y; z) = \frac{1}{i\lambda z} \cdot e^{ikr_e} \quad (2.5)$$

cu observația că în exponent aproximarea lui r_e la z nu se poate face pentru că ar putea duce la erori mai mari decât 2π .

Conform figurii 2.1 se poate scrie

$$r_e = \sqrt{z^2 + (x_e - x)^2 + (y_e - y)^2} = z \cdot \left[1 + \left(\frac{x_e - x}{z} \right)^2 + \left(\frac{y_e - y}{z} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.6)$$

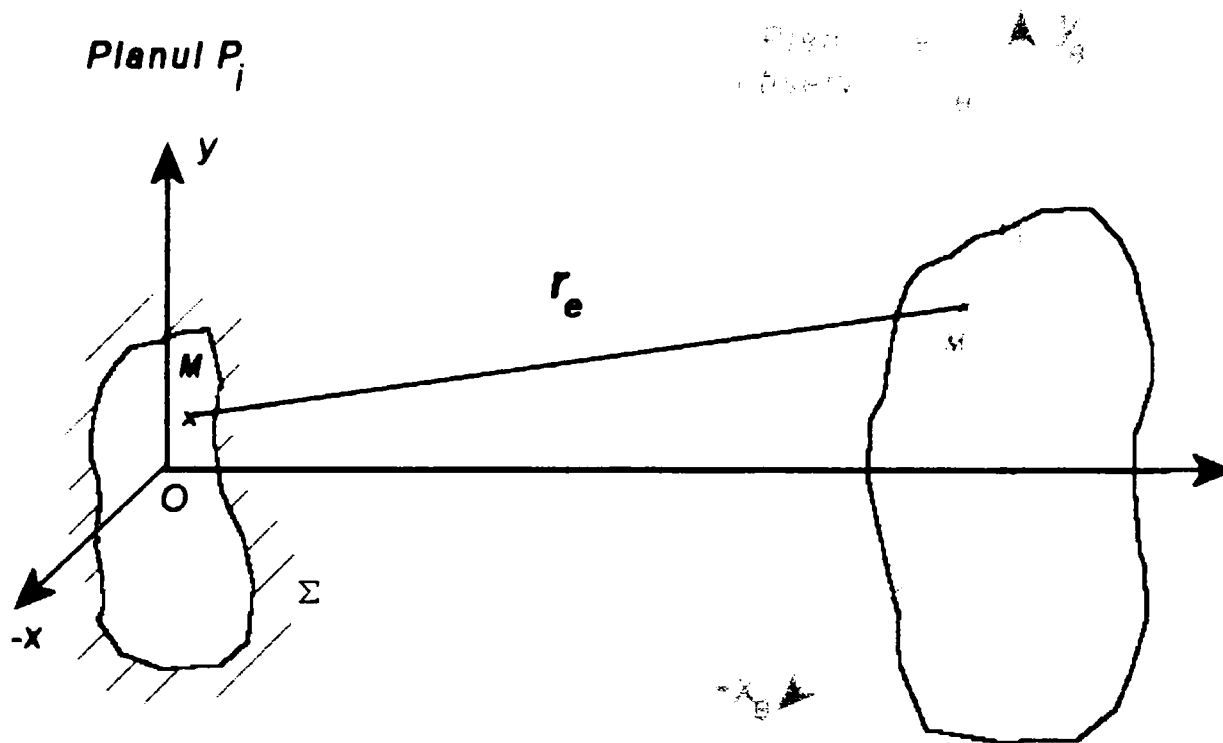


Fig. 2.1 Schema de studiu a clasificării fenomenelor de difracție

În această expresie dacă se ține cont de faptul că $z \gg \max(x, y)$, se va putea realiza dezvoltarea în serie, cu reținerea numai a primilor doi termeni

$$r_e \cong z \cdot \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{x_e - x}{z} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{y_e - y}{z} \right)^2 \right] \quad (2.7)$$

expresie care reprezintă aproximația Fresnel [1-5, 9] și care permite rescrierea funcției de pondere astfel

$$h(x_e, y_e; x, y; z) = \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} \cdot e^{i \frac{k}{2z} [(x_e - x)^2 + (y_e - y)^2]} \quad (2.8)$$

Integrala de superpoziție, ca urmare, în aproximația Fresnel se rescrie sub forma desfășurată

$$a(x_e, y_e) = \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} \cdot e^{i \frac{k}{2z} (x_e^2 + y_e^2)} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} a(x, y) \cdot e^{i \frac{k}{2z} (x^2 + y^2)} \cdot e^{-\frac{2\pi i}{\lambda z} (x_e x + y_e y)} dx dy \quad (2.9)$$

644. 705
369 E
BIBLIOTECA

ea fiind echivalentă (până la termenii multiplicativi de amplitudine și de fază independenți de x, y)

cu o transformata Fourier a funcției $\left[f(x, y) \cdot e^{i \frac{k}{2z}(x^2 + y^2)} \right]$ calculată în $u = \frac{x_e}{\lambda z}$ și $v = \frac{y_e}{\lambda z}$.

În celălalt caz $a(x_e, y_e)$ poate fi privită ca o convoluție între $a(x_1, y_1)$ și $h(x_0, y_0; x_1, y_1)$

$$a(x_e, y_e) = \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} \int_{-x}^x \int_{-x}^x a(x, y) \cdot e^{i \frac{k}{2z} [(x_e - x)^2 + (y_e - y)^2]} dx dy. \quad (2.10)$$

În continuare dacă impunem condiția mai puternică

$$z \gg \frac{k}{2} \cdot (x^2 + y^2)_{\max} \quad (2.11)$$

care este aproximația Fraunhofer [1-4, 9], atunci termenul pătratic de fază va fi aproximativ egal cu 1 peste întreaga apertură, iar distribuția observată în P_e va fi chiar transformata Fourier a distribuției aperturii însăși

$$a(x_e, y_e) = \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} \cdot e^{i \frac{k}{2z}(x_e^2 + y_e^2)} \cdot \int_{-x}^x \int_{-x}^x a(x, y) \cdot e^{i \frac{k}{2z}(x^2 + y^2)} dx dy \quad (2.12)$$

în care $u = \frac{x_e}{\lambda z}$ și $v = \frac{y_e}{\lambda z}$. Aproximația Fraunhofer în domeniul frecvențelor optice devine destul de severă: dacă $\lambda = 600 \text{ nm}$, $\delta = 2,5 \text{ mm}$ (deschiderea aperturii), atunci $z \gg 160 \text{ m}$; lucru aproape nerealizabil optic. Există însă posibilitatea de a reduce această distanță prin plasarea unei lentile convergente între observator și apertură.

2.2 Realizarea transformatei Fourier în optică

Formalismul cel mai adecvat în exprimarea proceselor ce au loc în sistemele de prelucrare optică a informației este analiza Fourier [1-15]. Anterior s-a văzut că fenomenul de difracție în aproximația câmpului îndepărtat, conduce la integrale de tip Fourier. Distanțele necesare realizării acestora, pentru sistemele optice sunt în general nerealizabile. Acest lucru se poate evita prin utilizarea

unor sisteme de dioptri care prin indicele de refracție, diferit de cel al mediului de propagare, simulează efectele propagării pe distanțe foarte mari.

Cea mai simplă combinație de dioptri sferici o reprezintă lentila subțire (vezi figura 2.2), care poate fi privită ca un filtru ce introduce numai diferențe de fază (dacă facem abstracție de pierderile de lumină prin reflexie și absorbție).

Considerăm că avem în planul P_i o amplitudine a luminii $a_0(x, y)$. Se urmărește găsirea intensității luminoase prin propagarea distribuției amplitudinii luminoase $a_0(x, y)$ de la planul P_i prin lentila, L , cu distanța focală, f , la planul P_e (Fig. 2.2).

Amplitudinea luminoasă din planul P_L^+ , localizat în imediata vecinătate înaintea lentilei, la distanța z de planul P_i , va fi [1-4, 9-14]

$$a^+(x, y) = a_0(x, y) * h(s, t; x, y; z), \quad (2.13)$$

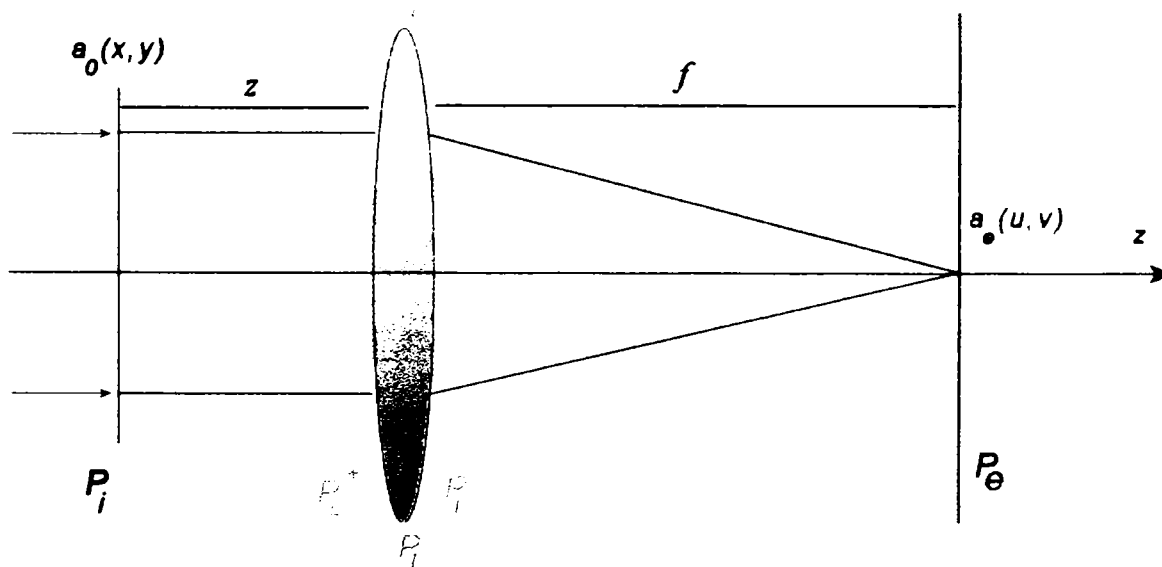


Fig. 2.2 Configurația pentru studiul propagării luminii printr-o lentilă L cu distanța focală f

unde $h(x, y; z)$ este funcția de transfer a propagatorului spațiu liber. În aproximația Fresnel forma matematică a funcției de transfer a propagatorului spațiu liber este

$$h(s, t; x, y; z) = -i\lambda \frac{\exp(ikz)}{z} \exp\left[i \frac{k}{2z} \left((x-s)^2 + (y-t)^2 \right)\right] \quad (2.14)$$

cu care se va putea rescrie expresia amplitudinii luminoase în planul P_L^+ :

$$a^+(x, y) = C_0(z) \cdot \exp\left[i \frac{k}{2z}(x^2 + y^2)\right] \cdot \iint a_0(s, t) \cdot \exp\left[i \frac{k}{2z}(s^2 + t^2)\right] \cdot \exp\left[-i \frac{k}{z}(xs + yt)\right] ds dt, \quad (2.15)$$

în care $C_0(z)$ este o constantă ce depinde numai de z .

Amplitudinea luminoasă după propagarea prin lentilă, în planul P_L^- , va fi

$$a^-(x, y) = a^+(x, y) \cdot p(x, y) \cdot \exp[i\Phi(x, y)] \quad (2.16)$$

în care $p(x, y)$ este funcția pupilă a lentilei – a cărei efect se neglijează în această demonstrație – iar $\Phi(x, y)$ este diferența de fază introdusă de lentilă

$$\Phi(x, y) = -\frac{k}{2f}(x^2 + y^2). \quad (2.17)$$

După propagarea în spațiul liber a unei luminoase din planul P_L^- în planul P_e , distribuția amplitudinii va fi, în final

$$a_e(u, v) = a^-(x, y) * h(x, y; u, v; f). \quad (2.18)$$

Efectuarea înlocuirilor tuturor funcțiilor intermediare utilizate, asigură pentru distribuția luminoasă din planul P_e , următoarea formă

$$a_e(u, v) = C_0(z) \cdot \exp\left[i \frac{k}{2f}(u^2 + v^2)\right] \cdot \iiint \left\{ \exp\left[i \frac{k}{2z}(x^2 + y^2)\right] \cdot \exp\left[-ik \left[\left(\frac{u}{f} + \frac{s}{z}\right)x + \left(\frac{v}{f} + \frac{t}{z}\right)y \right] \right] dx dy \right\} \cdot a_0(s, t) \cdot \exp\left[i \frac{k}{2z}(s^2 + t^2)\right] ds dt. \quad (2.19)$$

Integrala dublă centrală

$$\iiint \left\{ \exp\left[i \frac{k}{2z}(x^2 + y^2)\right] \cdot \exp\left[-ik \left[\left(\frac{u}{f} + \frac{s}{z}\right)x + \left(\frac{v}{f} + \frac{t}{z}\right)y \right] \right] dx dy \right\} \quad (2.20)$$

reprezintă transformata Fourier a unui termen parabolic de fază. În rezolvarea acestui termen se utilizează separabilitatea variabilelor de sub integrala dublă și următoarele notații corespunzătoare

$$\int \exp(-bx^2) \cdot \exp(iax) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{b}} \cdot \exp\left(-\frac{a^2}{4b}\right) \quad (2.21)$$

$$b = -i \frac{k}{2z} \quad (2.22)$$

$$a = -ik \left(\frac{u}{f} + \frac{s}{z} \right) x \quad (2.23)$$

Forma finală a distribuției luminoase din planul P_e , cu considerațiile anterioare, va fi

$$a_e(u, v) = D_0(z) \cdot \exp\left[i \frac{k}{2f} \left(1 - \frac{z}{f} \right) (x^2 + y^2) \right] \cdot \iint a_0(s, t) \exp\left[-i \frac{k}{f} (us + vt) \right] ds dt \quad (2.24)$$

Cazul particular pentru care $z = f$, are ca distribuția amplitudinii luminoase finală, în planul P_e , sub forma

$$a_e(u, v) = D_0(f) \cdot \iint a_0(s, t) \exp\left[-i \frac{k}{f} (us + vt) \right] ds dt \quad (2.25)$$

care reprezintă transformata Fourier scalată a distribuției amplitudinii luminoase, $a_0(x, y)$, până la o constantă multiplicativă

$$a_e(u, v) = \mathcal{F}[a_0(x, y)] = A_0(u, v) \equiv A_0\left(\frac{x}{\lambda f}, \frac{y}{\lambda f}\right) \quad (2.26)$$

Transformata Fourier bidimensională exactă se poate realiza pe cale optică [1-4, 9-14] – relația (2.25). Proprietăți generale ale transformatei Fourier [16-17] bidimensionale, care intervin direct sau indirect în construirea teoriei ce va urma, sunt enumerate mai jos. Considerăm următoarea notație pentru o pereche Fourier (ceea ce înseamnă că și operația inversă de transformare Fourier, \mathcal{F}^{-1} , este valabilă):

$$f(x, y) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} F(u, v) \quad (2.27)$$

și următoarele proprietăți [9]:

1. Liniaritatea

$$c_1 f_1(x, y) + c_2 f_2(x, y) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} c_1 F_1(u, v) + c_2 F_2(u, v), \quad (2.28)$$

2. Deplasarea

$$f(x \pm x_0, y \pm y_0) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \exp[\pm 2\pi i(x_0 u + y_0 v)] F(u, v), \quad (2.29)$$

3. Scalarea

$$f(ax, by) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{|ab|} F\left(\frac{u}{a}, \frac{v}{b}\right), \quad (2.30)$$

4. Conjugarea

$$f^*(\pm x, \pm y) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} F^*(\mp u, \mp v), \quad (2.31)$$

5. Convoluția

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} F(u, v) \cdot H(u, v) \quad (2.32)$$

unde

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x - x_1, y - y_1) \cdot h(x_1, y_1) dx_1 dy_1 \quad (2.33)$$

reprezintă integrala de convoluție a celor două funcții bidimensionale,

6. Corelația spațială

$$g(x, y) = f(x, y) \otimes h(x, y) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} F(u, v) \cdot H^*(u, v) \quad (2.34)$$

unde

$$g(x, y) = f(x, y) \otimes h(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, y_1) \cdot h(x + x_1, y + y_1) dx_1 dy_1 = f(x, y) * h^*(x, y) \quad (2.35)$$

\otimes reprezintă integrala de convoluție a celor două funcții bidimensionale.

Se poate observa că operația de corelație spațială nu este comutativă, spre deosebire de cea de convoluție care are această proprietate.

2.3 Recunoașterea de forme prin corelație optică clasică

Conceptul de filtrare adaptată [15-17], din prelucrarea semnalelor, îndeplinește două scopuri: detecția și recunoașterea semnalelor. El a fost preluat și în optică [4,9,22,23] și este folosit pentru recunoașterea formelor spațiale cu scopul de a găsi poziția necunoscută a unui anumit semnal 2D (formă de recunoscut) înconjurat de un anumit zgomot. Acest proces este un caz particular de filtrare adaptată a imaginilor în care nu se urmărește obținerea unei imagini asemănătoare imaginii originale, ci doar semnalizarea printr-un mijloc arbitrar - obișnuit un punct luminos, a existenței formei căutate și

a poziției acesteia în planul de intrare. Metoda optică de realizare a recunoașterii de forme cea mai utilizată este cea a corelației, pornind de la filtrarea adaptată.

Considerăm o imagine (semnal bidimensional) caracterizată optic de amplitudinea complexă $s(x, y)$, de recunoscut, cu transformata Fourier $S(u, v)$. Restul imaginii de intrare îl vom considera zgomot, $n(x, y)$ cu spectrul de putere $N_0 = |N(u, v)|^2$. Aplicând formalismul filtrării adaptate [9] printr-un sistem liniar invariant spațial, dar cu funcția de transfer aleasă sub forma:

$$H(u, v) = \frac{S^*(u, v)}{N_0} \quad (2.36)$$

răspunsul $r(x, y)$ va fi dat prin relația de corelație spațială, și nu cea de convoluție:

$$\begin{aligned} r(x, y) &= s(x, y) \otimes h(x, y) + n(x, y) \otimes h(x, y) \\ &= r_s(x, y) + r_n(x, y) \end{aligned} \quad (2.37)$$

Scopul nostru în recunoașterea formei $s(x, y)$ este de a găsi un filtru, care să genereze în planul de ieșire un maxim de corelație net distins și care să semnaleze prezența și poziția semnalului de recunoscut în semnalul de intrare.

Proprietățile fundamentale care trebuie să fie satisfăcute de orice metodă de recunoaștere sunt:

- 1.) invarianța la deplasarea spațială (shift invariant), adică dacă semnalul de recunoscut este deplasat față de origine $s(x + x_0, y + y_0)$ și maximul de corelație din răspunsul respectiv va fi deplasat corespunzător $r_s(x + x_0, y + y_0)$;
- 2.) aditivitatea, adică în cazul existenței mai multor semnale identice, în planul de intrare vom avea tot atâtea maxime de corelație deplasate corespunzător

$$\sum_k s(x + x_k, y + y_k) \leftrightarrow \sum_k r(x + x_k, y + y_k).$$

Aceste proprietăți sunt îndeplinite de către sistemele optice care realizează corelația spațială, ele numindu-se corelatoare optice. Realizarea practică a corelatoarelor optice clasice prezintă un impediment, deoarece filtrul adaptat teoretic este un filtru complex care din punct de vedere optic necesită o serie de filtre suprapuse prin metode holografice. Filtrele holografice adaptate dau prin corelație și alți termeni „neutili” care vor genera constrângeri suplimentare asupra procesului de recunoaștere de forme. În continuare vor fi prezentate două dintre cele mai uzuale variante clasice de corelatoare optice în lumină monocromatică și coerentă.

2.3.1 Corelatorul 4f Vander Lugt cu filtru ideal (numeric)

Se consideră un corelator optic de tip 4f sau Vander Lugt [9, 20-21] (Fig. 2.3), în care planul de intrare, P_i , și planul Fourier al frecvențelor spațiale, P_F , se găsesc în planele focale ale lentilei convergente L_1 , iar planul P_F și planul de ieșire, P_e , se găsesc în planele focale ale lentilei convergente L_2 . Aceste patru plane menționate anterior sunt aranjate la distanțe relative egale cu distanțele focale (în număr de patru) ale celor două lentile utilizate, și generează denumirea de corelator optic 4f, introdus în 1964 de A. Vander Lugt [20].

Fie o imagine (semnal 2D), caracterizată de amplitudinea complexă $scn(x, y)$, în semiplanul superior al planului de intrare, P_i , care constă dintr-o serie de forme $t_j(x, y)$ aflate în pozițiile x_j , astfel încât

$$scn(x, y) \rightarrow scn(x) = \sum_j t_j(x - x_j) \quad (2.38)$$

considerându-se pentru toate formele același $y_j = y_{scn}$ (motiv pentru care se adoptă studiul unidimensional). Această imagine constituie așa numita imaginea „scenă” în care se va găsi, sau nu, imaginea de referință, $ref(x, y)$, ce trebuie recunoscută.

În planul P_F , se va introduce filtrul adaptat cu funcția de transfer

$$H(u, v) = S^*(u, v) \quad (2.39)$$

unde $S^*(u, v)$ reprezintă conjugata spectrului (transformatei Fourier) formei ce urmează a fi detectată și recunoscută în imaginea $scn(x, y)$, respectiv $scn(x)$ pentru simplificarea calculelor. Astfel presupunem că amplitudinea complexă a formei de recunoscut (referinței) va fi

$$ref(x, y) \rightarrow ref(x) = r(x + x_0) \quad (2.40)$$

(figura 2.4) adică va fi localizat la distanța $x = x_0$ de origine, iar $y_{ref} = y_0 \neq y_{pag}$, în semiplanul inferior al planului P_i .

Cu ajutorul lentilei L_1 , vom obține în planul P_F , următoarele transformate Fourier (notate în această lucrare cu majuscule) ale amplitudinilor complexe din relațiile (2.38) și (2.40)

$$SCN(u, v) \rightarrow SCN(u) = \sum_j T_j(u, v) \cdot \exp[2\pi i u(-x_j)] \quad (2.41)$$

$$REF(u, v) \rightarrow REF(u) = R(u) \cdot \exp[2\pi i u(+x_0)] \quad (2.42)$$

deci vom putea scrie, conform relației (2.53)

$$H(u, v) = S^*(u, v) \rightarrow S^*(u) = R^*(u) \cdot \exp[2\pi i(-x_0)]. \quad (2.43)$$

În planul P_F se va produce filtrarea lui $SCN(u)$ prin $H(u) \equiv S^*(u)$, rezultând

$$\begin{aligned} S'(u, v) \rightarrow S'(u) &= SCN(u) \cdot H(u) \equiv SCN(u) \cdot S^*(u) \\ &= SCN(u) \cdot R^*(u) \exp[2\pi \cdot ui(-x_0)] \end{aligned} \quad (2.44)$$

adică

$$S'(u) = SCN(u) \cdot R^*(u) \exp[2\pi ui(-x_0)] \quad (2.45)$$

ce constituie o undă emergentă din planul P_F după filtrul adaptat (Fig. 2.3).

În acest moment presupunem că în planul P_i , în contextul scenei $scn(x)$ avem, în $x = x_r$, prezentă referința $r(x)$ care trebuie recunoscută astfel încât semnalul $scn(x)$ se va mai putea scrie și sub forma

$$scn(x) = r(x - x_r) + \sum_k t_k(x - x_k) \quad (2.46)$$

cu indexul k mai mic cu o unitate decât indexul j , adică o sumă dintre referință și restul scenei care se consideră zgomot ambiental.

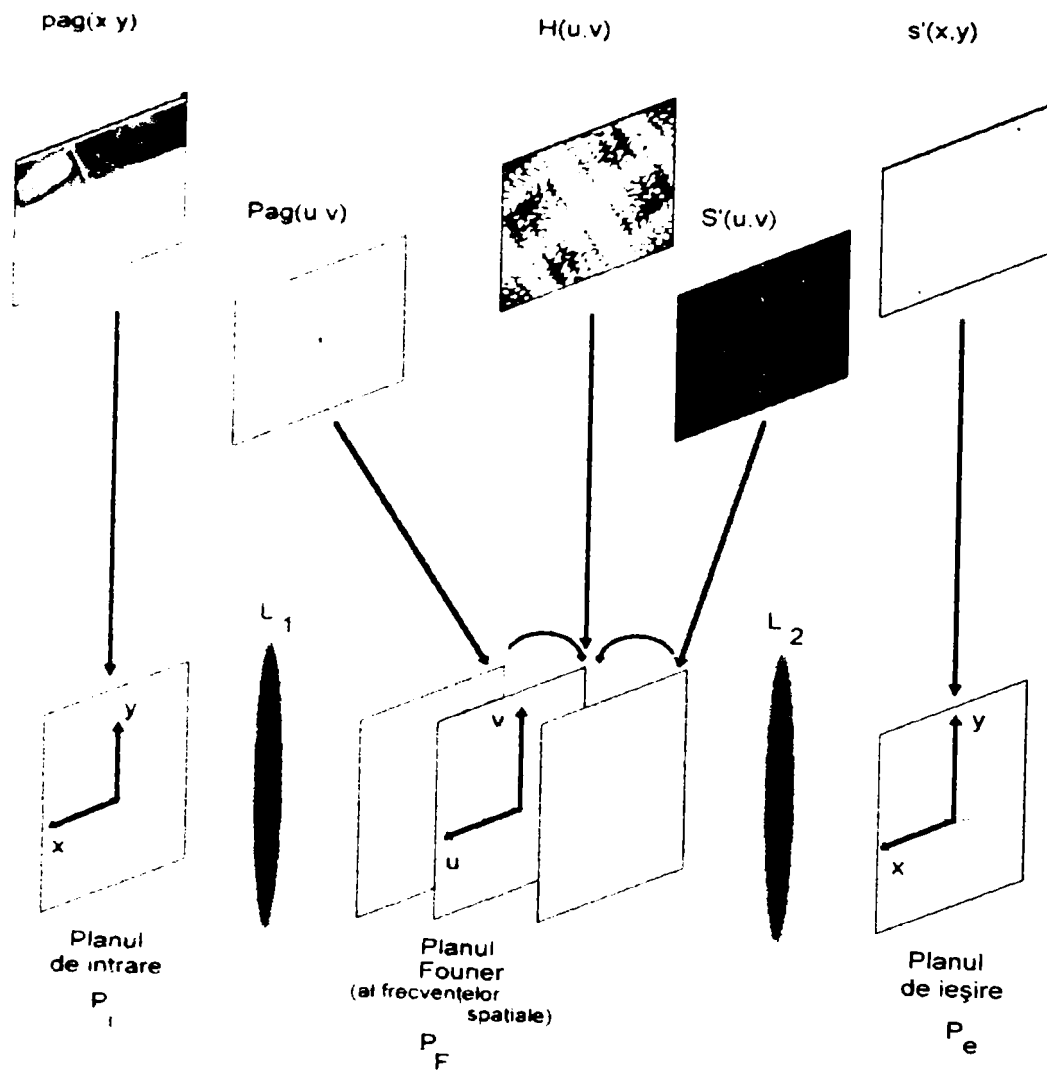


Fig. 2.3 Configurația corelatorului 4f de tip Vander Lugt pentru recunoașterea de forme.

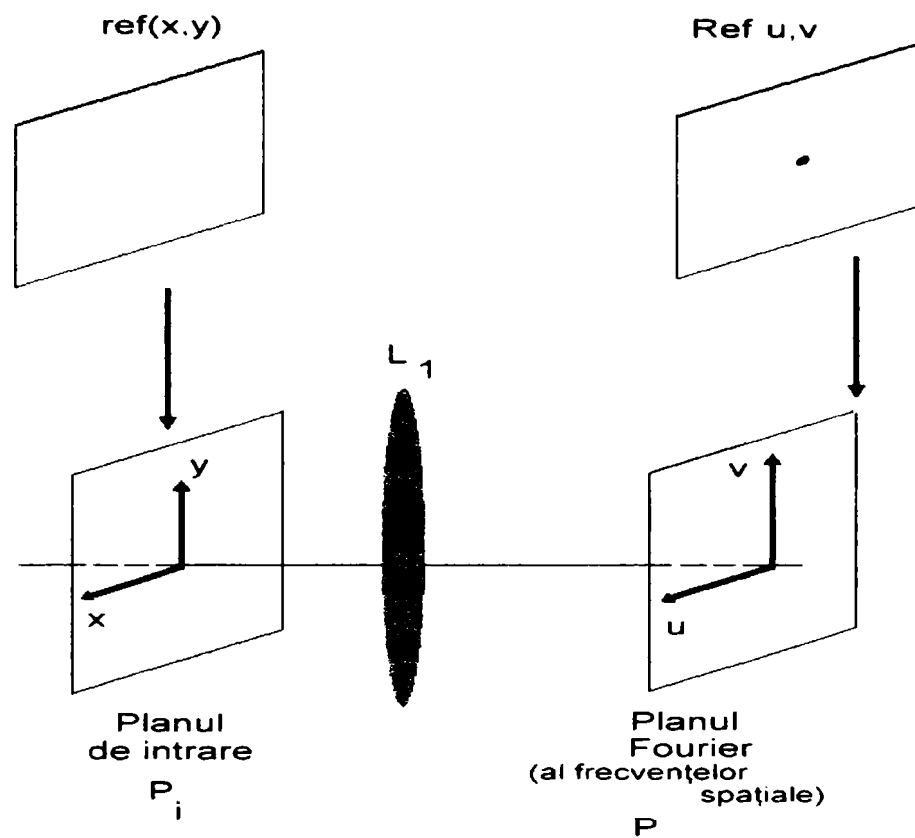


Fig. 2.4 Configurația de construire a filtrului ideal adaptat, pentru recunoașterea de forme cu corelatorul 4f de tip Vander Lugt.

Transformata Fourier 2D a relației anterioare va fi

$$SCN(u) = R(u) \cdot \exp[2\pi i u(-x_r)] + \sum_k T_k(u) \cdot \exp[2\pi i u(-x_k)]. \quad (2.47)$$

Introducând acum expresia (2.47) în expresia (2.45) va rezulta

$$S'(u) = R(u) \cdot R^*(u) \exp[2\pi i u(-x_0 - x_r)] + \sum_k T_k(u) R^*(u) \exp[2\pi i u(-x_0 - x_k)] \quad (2.48)$$

semnal 2D, care prin transformare (inversă) Fourier, realizată cu lentila L_2 , va deveni

$$\begin{aligned} s'(x) &= r(x-x_r) * r^*(-x-x_0) + \sum_k t_k(x-x_k) * r^*(-x-x_0) = \\ &= r(x-x_r) \otimes r(x+x_0) + \sum_k t_k(x-x_k) \otimes r(x+x_0) \end{aligned} \quad (2.49)$$

deci

$$s'(x) = r(x) \otimes r(x) \cdot \delta(x+(x_0-x_r)) + \sum_k t_k(x) \otimes r(x) \cdot \delta(x+(x_0-x_k))$$

în care funcția $\delta(x + \chi)$ este utilizată (prin abuz de limbaj [22]) în scopul de a sublinia faptul că răspunsul la corelație este centrat în jurul poziției $\chi = (x_0 - x_r)$, față de origine. Primul termen al relației (2.50) reprezintă autocorelația semnalului de referință $r(x)$, de recunoscut, iar al doilea termen reprezintă intercorelațiile semnalelor $t_k(x)$ cu $r(x)$.

Pe această cale s-a demonstrat posibilitatea detecției și recunoașterii de forme, utilizând filtrul adaptat (ideal matematic), dat de relația (2.39).

Pentru a determina pozițiile maximelor de corelație [22-24] și pentru a putea face deci, analiza imaginii de intrare trebuie să calculăm distribuția intensității luminoase în planul de ieșire, P_e .

În acest scop vom considera problema bidimensională a unei imaginii de intrare și de referință codificate numeric (matrice) în format *bitmap*, cu 256 de nivele de intensitate de gri, de dimensiune $N \times N$ (cu $N = 2^m$, m -întreg).

Se presupune că imaginea de intrare este localizată în porțiunea $[0, N] \times [0, N/2]$ și centrată în (x_j, y_j) (figura 2.5), iar imaginea de referință (de recunoscut) în porțiunea echivalentă, a planului de intrare $[0, N/2] \times [N/2, N]$ și centrată în (x_0, y_0) (figura 2.6).

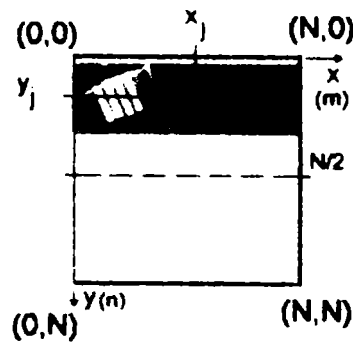


Fig. 2.5 Localizarea imaginii scenei în imaginea comună

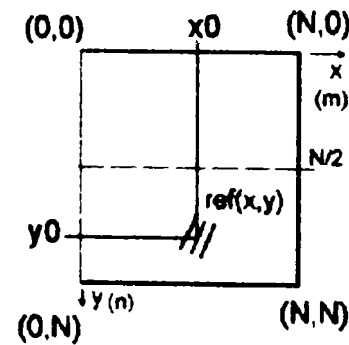


Fig. 2.6 Localizarea imaginii referinței în imaginea comună

și vor avea forma

$$\begin{cases} scn(m, n) = \sum_j t(m + x_j, n + y_j) \\ ref(m, n) = r(m + x_0, n + y_0) \end{cases}, \quad (2.51)$$

în care x_j, y_j, x_0, y_0 sunt numere întregi.

Transformatele Fourier 2D discrete (TFD) ale acestora vor fi

$$\begin{cases} SCN(k,l) = \sum_j T_j(k,l) \cdot \exp\left[2\pi i \left(\frac{x_j}{N} \cdot k + \frac{y_j}{N} \cdot l\right)\right] \\ REF(k,l) = R(k,l) \cdot \exp\left[2\pi i \left(\frac{x_0}{N} \cdot k + \frac{y_0}{N} \cdot l\right)\right] \end{cases}, \quad (2.52)$$

unde $T_j(k,l)$ și $R(k,l)$ sunt transformatele Fourier 2D discrete ale semnalelor $t_j(m,n)$ și respectiv $r(m,n)$, localizate după cum s-a precizat anterior.

Filtrul adaptat necesar recunoașterii formei $ref(m,n)$ va avea în acest caz forma

$$H(k,l) = REF^*(k,l) \equiv R^*(k,l) \exp\left[-2\pi i \left(\frac{x_0}{N} \cdot k + \frac{y_0}{N} \cdot l\right)\right] \quad (2.53)$$

iar semnalul corespunzător unei emergente de pe filtrul adaptat va fi [23]

$$\begin{aligned} S'(k,l) &= SCN(k,l) \cdot H(k,l) = \\ &= \sum_j T_j(k,l) \exp\left[2\pi i \left(\frac{x_j}{N} \cdot k + \frac{y_j}{N} \cdot l\right)\right] \cdot R^*(k,l) \exp\left[2\pi i \left(\frac{x_0}{N} \cdot k + \frac{y_0}{N} \cdot l\right)\right] = \\ &= \sum_j T_j(k,l) \circ R^*(k,l) \cdot \exp\left[2\pi i \left(\frac{(x_j - x_0)}{N} \cdot k + \frac{(y_j - y_0)}{N} \cdot l\right)\right]. \end{aligned} \quad (2.54)$$

Transformata 2D Fourier discretă inversă, produsă de lentila L_2 a montajului (4f) de recunoaștere de forme, pentru semnalul 2D $S'(k,l)$ va duce la un semnal 2D $s'(m,n)$ obținut în planul de ieșire, a cărui modul pătrat va reprezenta distribuția intensității câmpului luminos în acest plan, sau răspunsul la corelație și va avea forma

$$\begin{aligned} s'(m,n) &= \sum_j t_j(m+x_j, n+y_j) * r^*(-m-x_0, -n-y_0) \\ &= \sum_j t_j(m+x_j, n+y_j) \otimes r(m+x_0, n+y_0) \\ &= \sum_j t_j(m,n) \otimes r(m,n) \circ \delta(m+(x_0+x_j), n+(y_0+z_j)) \end{aligned} \quad (2.55)$$

În această relație, ca și în relația (2.50), funcția $\delta(m+\mu, n+\nu)$ a fost utilizată pentru a sublinia faptul că maximele funcțiilor de corelație corespunzătoare sunt centrate în pozițiile $(\mu = (x_0 + x_j), \nu = (y_0 + z_j))$, față de origine.

Din relația (2.55) se poate observa că filtrul adaptat (sub forma matematică ideală) dat de relația (2.39), respectă cele două cerințe generale, mai ales cea de aditivitate.

2.3.2 Corelatorul 4f Vander Lugt cu filtru holografic clasic (holografic, neideal matematic)

Se va prezenta pe scurt aceeași metodă de recunoaștere de forme, corelatorul 4f Vander Lugt, dar având un filtru adaptat modulat în amplitudine, generat fizic prin holografie [9, 20, 22] - procedeu necesar practic deoarece filtrul ideal matematic este de formă complexă.

Ca și în cazul precedent cele două imagini de intrare, referință și scenă, luate într-o abordare unidimensională, vor fi considerate sub forma

$$\begin{cases} scn(x, y) \rightarrow scn(x) = \sum_j t_j(x - x_j) \\ ref(x, y) \rightarrow ref(x) = r(x + x_0) \end{cases} \quad (2.56)$$

Filtrul complex (ideal matematic) dat de formula (2.39), pentru a fi realizat ca o „transparentă” (pe o placă holografică) prin metode holografice clasice va necesita prezența în planul de intrare a imaginii de referință cât și a unei surse punctiforme aflată în poziția (sr_x, sr_y) . Această configurație va genera un câmp luminos în planul P_F , dat de relația

$$H(u) = Ref(u) + \exp[2\pi i u(sr_x)] \quad (2.57)$$

care va da pe o placă holografică plasată în planul P_F , o transmitanță de forma

$$\begin{aligned} t_H \propto I_H = R(u)R^*(u) + 1 + R(u)\exp[2\pi i u(x_0 + sr_x)] + \\ + R^*(u)\exp[-2\pi i u(x_0 + sr_x)] \end{aligned} \quad (2.58)$$

ce va avea în componența sa (a se vedea termenul al patrulea) componenta corespunzătoare filtrului adaptat necesar recunoașterii referinței $ref(x, y)$. Unda emergentă de pe acest filtru, dat de relația (2.58), atunci când în planul de intrare avem imaginea $scn(x, y)$, va avea expresia

$$\begin{aligned}
 S'(u, v) = & \left[R(u)R^*(u) \right] \cdot \sum_j T_j(u) \exp[2\pi i u(-x_j)] + \sum_j T_j(u) \exp[2\pi i u(-x_j)] \\
 & + \sum_j T_j(u) \cdot R(u) \exp[2\pi i u(-x_j + x_0 + sr_x)] \\
 & + \sum_j T_j(u) \cdot R^*(u) \exp[2\pi i u(x_j - x_0 + sr_x)]
 \end{aligned} \tag{2.59}$$

În planul de ieșire se va obține transformata Fourier 2D a expresiei (2.59), adică distribuția câmpului luminos

$$\begin{aligned}
 s'(x) = & \sum_j \{ [r(x) \otimes r(x)] * t_j(x) \} \cdot \delta(x - x_j) \\
 & + \sum_j t_j(x) \delta(x - x_j) \\
 & + \sum_j [t_j(x) * r(x)] \cdot \delta(x + (-x_j + x_0 + sr_x)) \\
 & + \sum_j [t_j(x) \otimes r(x)] \cdot \delta(x + (-x_j - x_0 - sr_x)) \\
 \equiv & T_1 + T_2 + T_3 + T_4
 \end{aligned} \tag{2.60}$$

în care :

T_1 - reprezintă convoluția lui $scn(x)$ cu $|r(x)|^2$, localizat în $x = (-x_j)$;

T_2 - reprezintă chiar $scn(x)$ localizat în $x = (-x_j)$;

T_3 - reprezintă convoluțiile lui $t_j(x)$ cu $r(x)$, localizate în

$$x = (-x_j + x_0 + sr_x);$$

T_4 - reprezintă corelațiile lui $t_j(x)$ cu $r(x)$, localizate în

$$x = (-x_j - x_0 - sr_x).$$

Prin urmare, dintre toți termenii relației (2.60), doar termenul T_4 va îndeplini scopul nostru de detecție și recunoaștere a referinței $ref(x)$ din scena $scn(x)$. Condiția de nesuprapunere a acestor termeni este [4]

$$x_0 + sr_x \geq \frac{3}{2}A + 2a \tag{2.61}$$

unde A este dimensiunea pe Ox a ansamblului de forme ce compun scena $scn(x)$, iar a este dimensiunea pe Ox a referinței.

Problemele practice de realizare a filtrului dat de relația (2.58), țin în special de faptul că unda de referință din (sr_x, sr_y) trebuie să fie riguros aflată în planul P_i , ceea ce nu întotdeauna este posibil.

În planul de ieșire se observă că, în acest caz se vor obține maximele de corelație în jurul poziției $x = (-sr_1)$ a undei de referință cu care se înregistrează filtrul și deplasate față această poziție cu deplasarea relativă a formei respective față de poziția sa în timpul înregistrării filtrului.

2.4 Concluzii

O primă concluzie ce reiese din comparația cazului filtrului generat pe calculator cu cel construit holografic clasic, este aceea că în cazul numeric dispunerea maximelor de corelație se va face relativ la poziția referinței $ref(x)$.

O altă concluzie comparativă este aceea că în cazul filtrului generat numeric cu ajutorul calculatorului, avem un singur termen în planul de ieșire ce conține maximele de corelație, iar în cazul holografic clasic avem o suprapunere de patru termeni, dintre care numai unul conține informația utilă privind maximele de corelație, astfel că analiza răspunsului la corelație (și deci a semnalului 2D – imaginii de intrare) în cel de-al doilea caz va fi mai dificilă. Acest lucru este susținut și din punct de vedere energetic. În cazul numeric, filtrul adaptat va concentra toată energia incidentă pe acesta în unicul termen din planul de ieșire, termenul de corelație (util), ceea ce duce la o separare mai bună a maximelor de corelație și o decizie mai bună în detecția și recunoașterea de forme. În cazul clasic energia incidentă pe filtrul clasic se va distribui în patru termeni, dintre care numai unul este util, ceea ce poate duce în anumite cazuri (când T_1 este foarte mare) la o alterare a separabilității maximelor de corelație și deci, chiar la o imposibilitate de decizie în detecție și recunoaștere.

Mai trebuie menționat faptul că datorită existenței posibilității de identificare paralelă a formelor în cazul clasic, vom avea posibilitatea de a recurge la această metodă și în cazul numeric.

O îmbunătățire adusă acestor metode de recunoaștere de forme este blocarea prin filtrare spațială, a maximului central de difracție (termenul de ordinul zero) din planul P_F , atât pentru $SCN(u, v)$ cât și pentru $H(u, v)$. Această blocare va duce la o „comparare” în „detaliu”, din partea corelatorului 4f descris anterior, a frecvențelor spațiale superioare, care de altfel sunt răspunzătoare de formarea detaliilor (din planul P_1).

În literatura de specialitate această metodă suplimentară este cunoscută sub denumirea dedicată “dc-blocking”, și este folosită în mod hibrid cu alte metode, în scopul îmbunătățirii raportului dintre intensitatea maximului de autocorelație, *IMA*, util și intensitatea maximelor de corelație, *IMC*, a restului de forme din imaginea de intrare cu referința, raport pe care îl vom nota cu *CED* și se va numi coeficient de eficiență la detecție. Această metodă se aplică mai ales atunci când semnalul de referință este puternic corelat cu una din formele neidentice cu acesta sau cu zgomotul ambiental.

Corelatorul optic de tip 4f Vander Lugt [9,20,22] pe lângă avantajele și dezavantajele amintite în capitolul anterior prezintă și dezavantajul că pentru o detecție și recunoaștere bună are nevoie de o aliniere perfectă a sistemelor optice ce-l compun. Această condiție joacă un rol chiar de condiție restrictivă fără de care în majoritatea experimentelor nu se obțin rezultate corecte.

Alinierea presupune:

- a) centrarea (aducerea în coliniaritate) celor două axe principale ale celor două lentile utilizate L_1 și L_2 (vezi Fig. 2.6)
- b) centrarea celor două imagini; alinierea centrului imaginii de intrare din planul de intrare și centrului maximului de ordinul zero al filtrului construit pentru a detecta referința, din planul frecvențelor spațiale – aceste centre se găsesc în planul Fourier imagine al lentilei L_1 , respectiv planul Fourier obiect al lentilei L_2 .

Restricția impusă de această aliniere este dată de faptul că filtrarea adaptată pe care se bazează întreg procesul de corelație în vederea recunoașterii de forme pentru corelatorul optic de tip 4f Vander Lugt (vezi Fig. 2.6, Fig. 2.7 și relația (2.50)) se desfășoară în planul frecvențelor spațiale. Dacă sistemul optic nu ar fi aliniat atunci în planul frecvențelor spațiale (care se găsește în planul Fourier imagine al lentilei L_1 , respectiv planul Fourier obiect al lentilei L_2) nu ar mai exista o corespondență a pozițiilor fizice a frecvențelor spațiale, iar filtrarea adaptată ar avea cu totul alt efect.

Capitolele următoare descriu corelatoarele optice și hibride cu transformată comună pentru care condiția de aliniere prezentată anterior nu mai constituie o restricție.

Capitolul 3.

Corelatoare optice și hibride în domeniul amplitudinii cu transformată comună

3.1 Introducere

Condiția restrictivă de aliniere descrisă în capitolul anterior pentru corelatorul de tip 4f Vander Lugt, poate fi evitată prin construirea unei imagini comune proiectată în planul de intrare a corelatorului. Această imagine comună este compusă din imaginea referinței, localizată într-una din jumătățile imaginii comune – de exemplu jumătatea de sus – și imaginea scenei în care se dorește detecția prezenței referinței situată în cealaltă jumătate – respectiv jumătatea de jos (vezi Fig. 3.1).

Imaginea comună din planul de intrare P_i (care este și planul Fourier obiect al lentilei L_1) va fi transformată Fourier de prima lentilă L_1 . În planul frecvențelor spațiale (P_F) se obține spectru de putere comun, al imaginii comune – de unde denumirea de *corelator cu transformată comună* [21, 25-58]. Spectrul de putere comun va fi transformat Fourier de a doua lentilă L_2 . În planul de ieșire (P_e) se va obține corelația celor două imagini din planul de intrare ce alcătuiesc imaginea comună. Din analiza rezultatului de corelație se poate deduce reușita procesului de detecție și recunoaștere cu corelatorul respectiv. Dacă în imaginea comună referința este prezentă și în imaginea scenei, atunci în planul de ieșire va trebui să existe un maxim de autocorelație aferent a cărui poziție va determina poziția imaginii de referință în imaginea scenei.

Corelatoarele optice în domeniul amplitudinii au ca imagini comune de intrare imagini modulate în amplitudine care sunt realizate pe baza principiului (clasic) descris anterior și se numesc corelatoare optice cu transformată comună modelul clasic (COTC-CL).

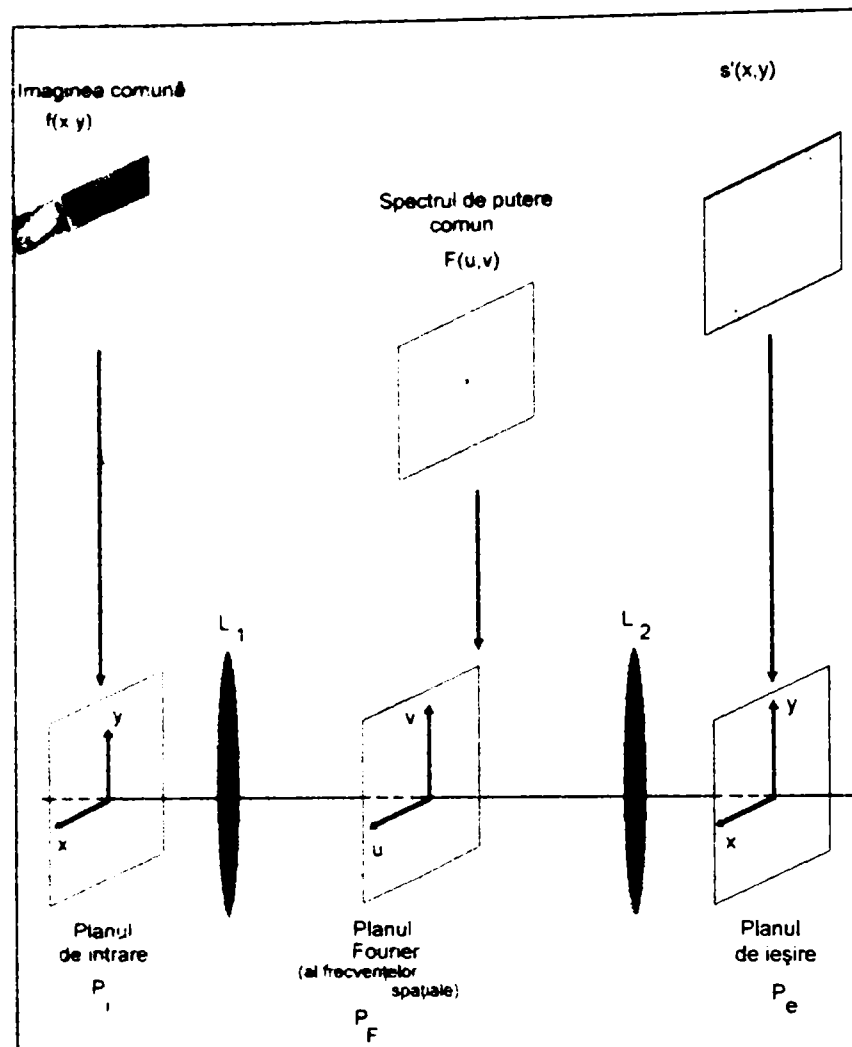


Fig. 3.1 Schema de principiu a corelatorului optic cu transformată comună (în domeniul amplitudinii) modelul clasic (COTC-CL)

În general calitatea procesului de recunoaștere de forme prin corelație se determină introducând următorii parametri [25-58]:

- intensitatea maximelor de autocorelație (IMA) din termenii utili de corelație, exprimat în unități arbitrare
- intensitatea maximelor de corelație (IMC) din termenii utili de corelație, exprimat în unități arbitrare
- coeficientul de eficiență a detecției (CED), definit prin

$$CED = \frac{IMA}{IMC} \quad (3.1)$$

Acest coeficient de eficiență a detecției caracterizează cantitativ procesul de detecție și implicit cel de corelație efectuat în scopul recunoașterii de forme. Dacă maximum de autocorelație este mai intens (mai mare) decât maximele de corelație atunci procesul de detecție a reușit și ca urmare CED va fi supraunitar. Cu cât coeficientul de eficiență la detecție, CED , este mai mare (supraunitar) cu atât procesul de detecție – corelație – este calitativ mai bun și ca urmare corelatorul respectiv este mai performant în procesul de recunoaștere de forme. Dacă maximum de autocorelație este mai puțin intens

(mai mic) decât maximele de corelație atunci CED va fi subunitar, adică procesul de detecție a eşuat, corelatorul fiind în imposibilitatea de a realiza recunoaşterea de forme în acel caz.

3.2 Corelatorul optic cu transformată comună clasic (COTC-CL)

Pentru a analiza cantitativ acest tip de corelator [23-58] se vor considera imaginea de referință de forma $ref(x, y)$, imaginea scenei $scn(x, y)$ și imaginea comună (figura 3.2)

$$com(x, y) = ref(x, y + y_0) + scn(x, y - y_0). \quad (3.2)$$

Având în vedere metoda descrisă anterior, după transformarea Fourier realizată de lentila L_1 , în planul frecvențelor spațiale se obține transformata Fourier (notată cu litere mari ca echivalent al funcției cu litere mici)

$$COM(u, v) = REF(u, v) \cdot \exp(iv \cdot y_0) + SCN(u, v) \cdot \exp(-iv \cdot y_0) \quad (3.3)$$

unde $COM(u, v)$, $REF(u, v)$ și $SCN(u, v)$ sunt transformatele Fourier ale imaginilor comună $com(x, y)$, de referință $ref(x, y)$ și respectiv scenei $scn(x, y)$, iar $u = \frac{2\pi}{\lambda f} \cdot x$, $v = \frac{2\pi}{\lambda f} \cdot y$ reprezintă frecvențele spațiale. În consecință spectrul de putere comun va avea forma

$$\begin{aligned} SPC(u, v) &= SPR(u, v) + SPS(u, v) \\ &+ REF(u, v) \cdot SCN^*(u, v) \exp(iv \cdot 2a) \quad , \\ &+ SCN(u, v) \cdot REF^*(u, v) \exp(-iv \cdot 2a) \end{aligned} \quad (3.4)$$

în care $SPR(u, v)$ este spectrul de putere al imaginii de referință, iar $SPS(u, v)$ este spectrul de putere al imaginii scenei. În final în planul de ieșire, prin transformarea Fourier inversă realizată cu lentila L_2 a spectrului de putere comun, rezultatul corelației va fi

$$\begin{aligned} RCor(x, y) &= [ref(x, y) \otimes ref(x, y) + scn(x, y) \otimes scn(x, y)] \\ &+ ref(x, y) \otimes scn(x, y + 2a) \\ &+ scn(x, y) \otimes ref(x, y - 2a) \\ &\equiv T_0 + T_1 + T_2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

unde simbolul \otimes reprezintă operația de corelație.

Termenul T_0 este termenul de difracție de ordinul zero și este rezultatul autocorelației dintre imaginea de referință cu ea însăși și imaginea scenei cu ea însăși. Acest termen este un termen inutil din punct de vedere al procesului de detecție și recunoaștere, localizat în centrul imaginii ce constituie rezultatul corelației și are o intensitate luminoasă foarte mare (figura 3.3 a). Una din problemele majore ale corelatoarelor optice de acest tip este eliminarea nemecanică a acestui termen prin suprapunerea unui blocator mecanic, în mod generic un ecran opac, suprafeței pe care se subîntinde acesta.

Termenii T_1 , T_2 sunt termenii utili din punct de vedere al procesului de detecție și recunoaștere fiind dispuși simetric față de centrul imaginii de ieșire, dar intensitățile (maximele de corelație) sunt dispuse în sensuri opuse (figura 3.3 b, c).

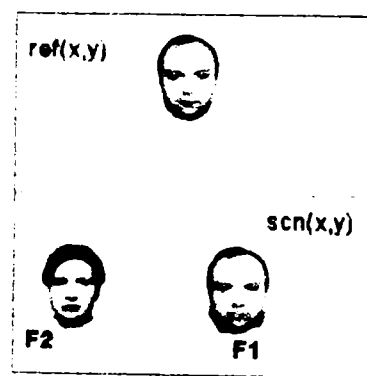


Fig. 3.2 Imaginea comună introdusă în planul de intrare al corelatorului cu transformată comună clasic (COTC-CL).

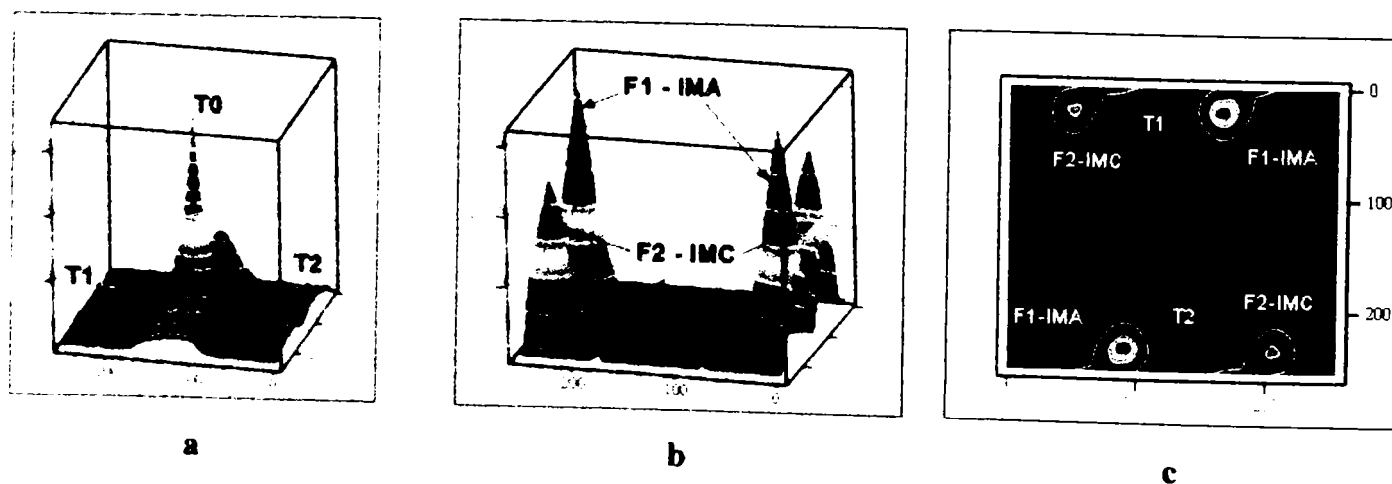


Fig. 3.3 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorului optic cu transformată comună clasic (COTC-CL), pentru imaginea de intrare din Fig. 3.2. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy.

- variante 3D fără maximul central de ordinul zero blocat – se pot observa cei trei termeni de difracție, respectiv corelație, T_0 , T_1 , T_2 , prezentați în relația (3.5);
- variante 3D cu maximul central de ordinul zero blocat – se pot observa cei doi termeni de corelație utili, formând cele două linii de corelație antiparalele, situate simetric față de centrul imaginii de ieșire, T_1 , respectiv T_2 ;
- variante 2D plană a rezultatului corelației – imagine ce poate fi captată cu o cameră CCD și analizată din punct de vedere al performanțelor la recunoașterea de forme.

Aceste rezultate au fost obținute printr-un model de corelator simulat pe calculator. În imaginea scenei, imaginea de referință este prezentă cu indexul F1 reprezentând o față umană alături de o altă imagine reprezentând tot o față umană, diferită de cea de referință, cu indexul F2 (figura 3.2). Acești indecși au fost marcați și în imaginile de ieșire din figura 3.3 a, b, c. S-a indicat și faptul că maximum de corelație obținut pentru imaginea F1 este cel care marchează prezența referinței în imaginea scenei, ca urmare acesta este maximum de autocorelație util a cărui intensitate este notată cu *IMA* (respectiv în figură cu F1-IMA). În mod asemănător s-a marcat pentru imaginea F2 maximum de corelație a cărui intensitate este notat cu *IMC*. Măsurarea automată, cu ajutorul calculatorului pe imaginea capturată cu o cameră CCD, a celor două intensități ale maximelor de corelație se poate întocmi tabelul cu următoarele rezultate:

Tabelul 3.1 Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul optic cu transformată comună clasic (COTC-CL), pentru imaginea de intrare din figura 3.2.

	IMA	IMC	CED
COTC-CL	629154	464000	1,356

Din valoarea coeficientului de eficiență a detecției $CED=1,356$ se poate afirma că procesul de detecție și recunoaștere a reușit, calitatea detecției fiind bună, dar maximele de corelație sunt destul de largi ceea ce ar putea crea dificultăți în localizarea imaginii de referință în imaginea scenei (figura 3.3).

Imaginea scenei conține cele două fețe înconjurată de zone foarte înguste de zgomot ambiental (generic peisaj ambiental); în cazul în care acest zgomot este prezent în zone mai întinse care pot duce la eșuarea procesului de detecție. Acest caz este prezentat în continuare.

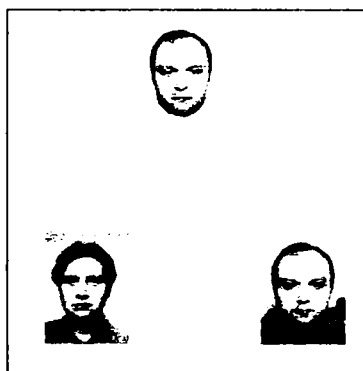


Fig. 3.4 Imaginea comună introdusă în planul de intrare al corelatorului cu transformată comună clasic (COTC-CL).

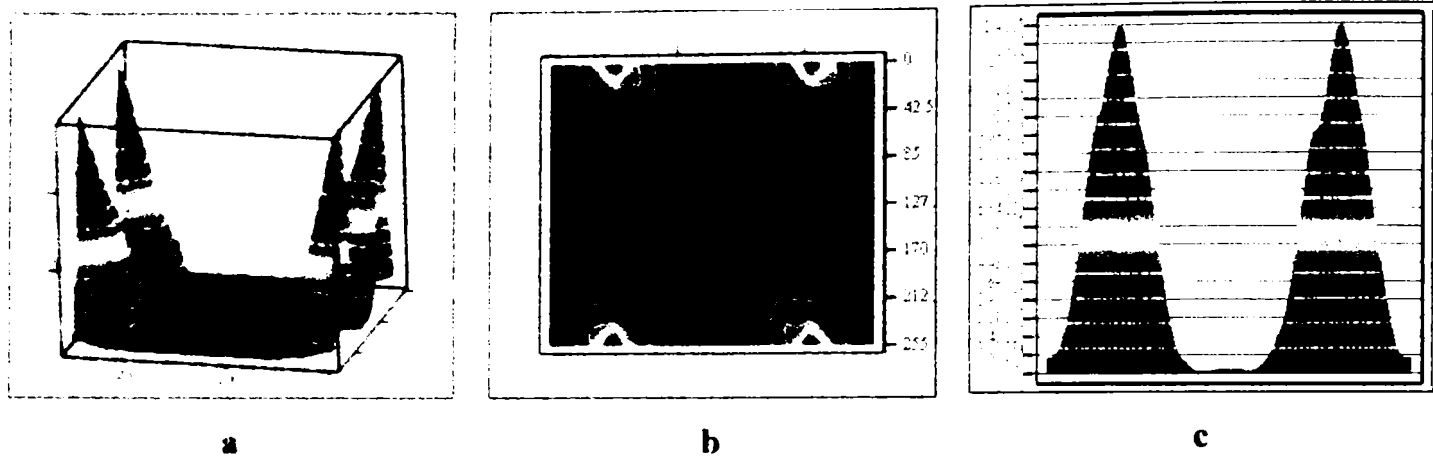


Fig. 3.5 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorului optic cu transformată comună clasic (COTC-CL), pentru imaginea de intrare din figura 3.4. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy.

- a. varianta 3D cu maximum central de ordinul zero blocat – se pot observa cele două linii de corelație
- b. varianta 2D plană a rezultatului corelației -- imagine ce poate fi captată cu o cameră CCD și analizată din punct de vedere al performanțelor la recunoașterea de forme:
- c. varianta 2D longitudinală a unei linii de corelație (din jumătatea inferioară a variantei b) – se pot compara intensitățile maximelor de autocorelație (IMA) și corelație (IMC).

Rezultatul corelației redat în figura 3.5 c arată că cele două intensități ale maximelor de corelație ($IMA = 1,40 \cdot 10^9$, $IMC = 1,40 \cdot 10^6$) sunt egale ceea ce duce la concluzia că procesul de detecție practic a eșuat ($CED \cong 1$). Cu alte cuvinte atunci când imaginea de referință din imaginea scenei este înconjurată de zgomot ambiental corelatorul optic cu transformată comună clasic nu reușește să producă detecția acesteia, adică este sensibil la zgomotul ambiental.

3.3 Corelatorul optic cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine (COTC-FmA)

Dezavantajul corelatorului cu transformată comună clasic (COTC-CI) de a nu putea detecta și recunoaște imaginea de referință în cazul prezenței zgomotului ambiental din imaginea scenei, poate fi eliminat dacă se filtrează spațial în planul Fourier al frecvențelor spațiale, P_F , spectrul de putere comun $SPC(u, v)$ [27-29, 32-34, 38, 40-42, 44, 47, 54-58]. Această filtrare trebuie să reducă efectele zgomotului ambiental și să producă astfel detecția referinței cu performanțe mai mari (coeficienți CED mai mari). Deoarece zgomotul ambiental cuprinde o suprafață relativ mare în spațiul coordonatelor spațiale va produce un spectru de putere concentrat în domeniul frecvențelor spațiale cu

valori mici. Ca urmare filtrul ce se va utiliza va trebui să atenueze mai puternic frecvențele spațiale cu valori mai mici, cele cu valori mai mari lăsându-le pe cât posibil neschimbate sau chiar să le amplifice.

Aici ar trebui făcută observația că frecvențele spațiale cu valori mari sunt responsabile de descrierea detaliilor imaginii, ca urmare o scoatere în evidență a acestora va duce la „compararea” cu precădere a detaliilor imaginilor și deci la un răspuns mai selectiv a procesului de corelație.

Acest tip de filtru în domeniul frecvențelor spațiale poate fi considerat sub forma [27,28,33,38,41,46,47,54,56-58]

$$H(u, v) = \begin{cases} \frac{1}{[SPR(u, v)]^{1/2}}, & [SPR(u, v)]^{1/2} \neq 0 \\ \frac{1}{[SPR(u, v)]^{1/2} + Z(u, v)}, & [SPR(u, v)]^{1/2} = 0 \end{cases}, \quad (3.6)$$

în care $SPR(u, v)$ este spectrul de putere al referinței, $SPC(u, v)$ este spectrul de putere comun, $Z(u, v)$ este o funcție nenulă folosită pentru a evita singularitățile datorate împărțirii la zero în cazul în care spectrul comun are această valoare. Funcția $Z(u, v)$ trebuie aleasă cu atenție astfel încât introducerea ei să nu creeze artefacte în procesul de detecție. În relația (3.6) s-a utilizat forma $[SPR(u, v)]^{1/2} \equiv |REF(u, v)|$ a spectrului de putere al referinței ca urmare a faptului că această funcție are valori mai mari pentru frecvențe spațiale mici și valori mult mai mici pentru frecvențe spațiale mai mari, îndeplinind astfel cerințele de filtrare anterioare.

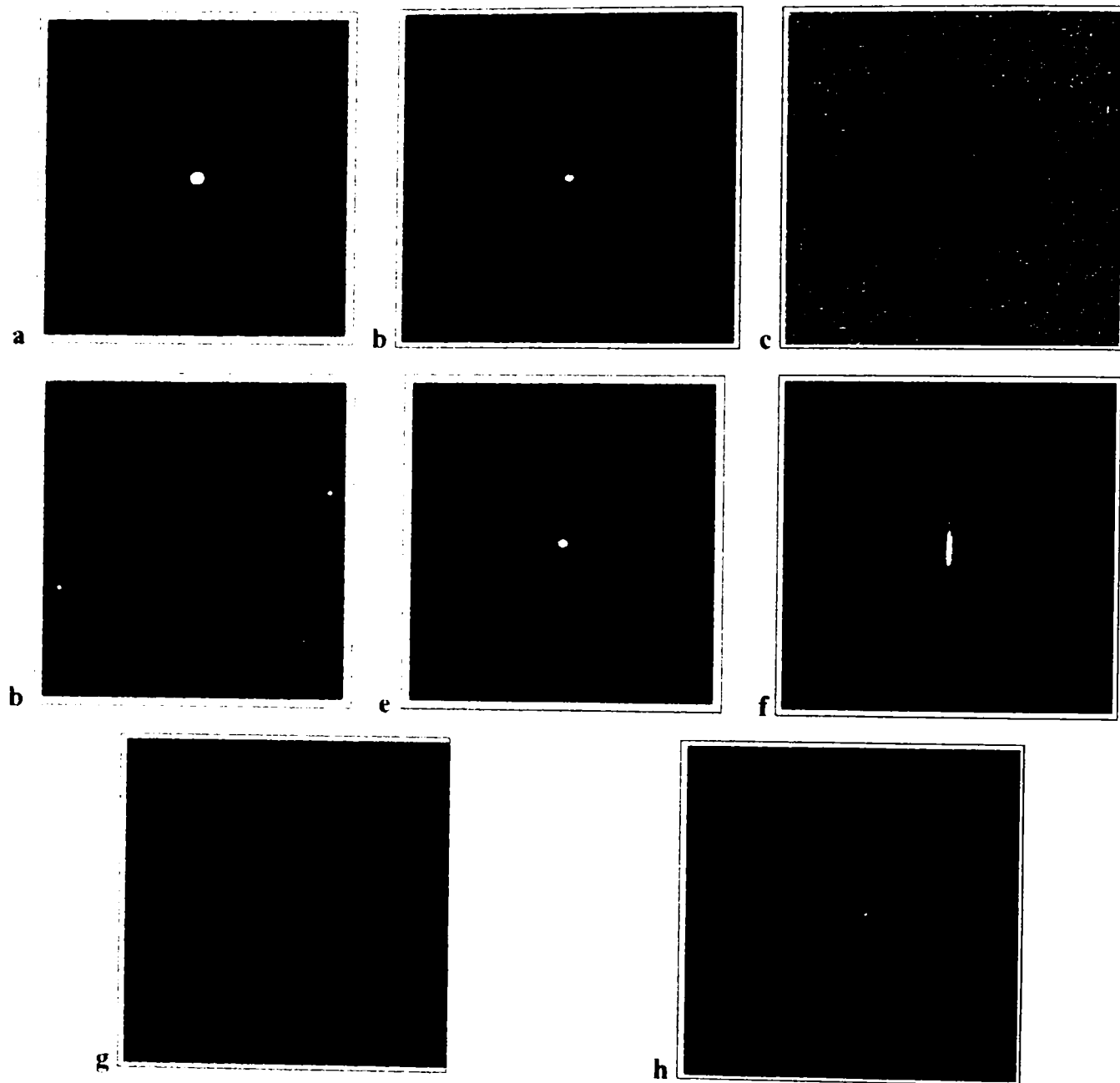


Fig. 3.6 Spectre de putere

- a. spectrul de putere al imaginii de referință, $[SPR(u, v)]$
- b. rădăcina pătrată a spectrului de putere al imaginii de referință, $[SPR(u, v)]^{1/2} \equiv |REF(u, v)|$
- c. inversa rădăcinii pătrate a spectrului de putere al imaginii de referință, $1/[SPR(u, v)]^{1/2}$, calculat cu relația (3.6)
- d. inversul spectrului de putere al imaginii de referință, $1/[SPR(u, v)]$
- e. spectrul de putere comun, $SPC(u, v)$, vedere în plan (sau 3D de sus)
- f. zona frecvențelor spațiale de valori mici a spectrului de putere comun, $SPC(u, v)$, vedere 3D dintr-o direcție oarecare
- g. zona frecvențelor spațiale de valori mici a spectrului de putere comun filtrat cu filtrul dat de relația (3.6) $SPC_f(u, v)$, vedere 3D dintr-o direcție oarecare
- h. spectrul de putere comun filtrat cu filtrul dat de relația (3.6), $SPC(u, v)$, vedere în plan (sau 3D de sus).

Figura 3.6 a fost introdusă pentru a vizualiza procesul de filtrare descris anterior. Anume pentru a putea observa diferența între forma filtrului dat de inversul spectrului de putere al referinței $1/[SPR(u,v)]$ (figura 3.6 d) și cea a inversei rădăcinii pătrate a spectrului de putere al referinței $1/[SPR(u,v)]^{1/2}$ (figura 3.6 c). Această figură mai redă și modul în care spectrul de putere comun (figura 3.6 e și f) este filtrat, rezultând o atenuare a frecvențelor spațiale cu valori mici și o amplificare a frecvențelor spațiale cu valori mari – figura 3.6 g și h – astfel încât filtrul să îndeplinească cerințele enunțate anterior.

După filtrarea spațială a spectrului de putere comun $SPC(u,v)$, cu filtrul $H(u,v)$ dat de relația (3.6), în planul frecvențelor spațiale, rezultatul va fi spectrul de putere filtrat $SPCf(u,v)$

$$\begin{aligned}
 SPCf(u,v) &= H(u,v) \cdot SPC(u,v) = \\
 &= \frac{1}{SPR(u,v)} \cdot [SPR(u,v) + SPS(u,v) \\
 &\quad + REF(u,v) \cdot SCN^*(u,v) \exp(iv \cdot 2a) + SCN(u,v) \cdot REF^*(u,v) \exp(-iv \cdot 2a)] \\
 &= \left[|REF(u,v)| + \frac{|SCN(u,v)|^2}{|REF(u,v)|} \right] + \\
 &\quad + \frac{REF(u,v) \cdot SCN^*(u,v)}{|REF(u,v)|} \cdot \exp(iv \cdot 2a) + \frac{REF^*(u,v) \cdot SCN(u,v)}{|REF(u,v)|} \cdot \exp(-iv \cdot 2a).
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

În planul de ieșire al corelatorului optic cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine (COTC-FmA) spectrul de putere comun filtrat din relația (3.7) va genera ca rezultat al corelației optice prin lentila L_2

$$\begin{aligned}
 RCorf(x,y) &= \left[ref(x,y) + \frac{1}{|REF(u,v)|} \cdot [scn(x,y) \otimes scn(x,y)] \right] \\
 &\quad + \frac{1}{|REF(u,v)|} \cdot [ref(x,y) \otimes scn(x,y + 2a)] \\
 &\quad + \frac{1}{|REF(u,v)|} \cdot [scn(x,y) \otimes ref(x,y - 2a)] \\
 &\equiv T_0 + T_1 + T_2
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

care are același număr de termeni cu aceeași semnificație ca și rezultatul (3.5) al corelației cu corelatorul (COTC-CL).

Dacă acestui corelator i se aplică o imagine comună de intrare identică cu cea din figura 3.4, ca rezultat ale corelației în planul de ieșire se obțin imaginile din figura 3.7.

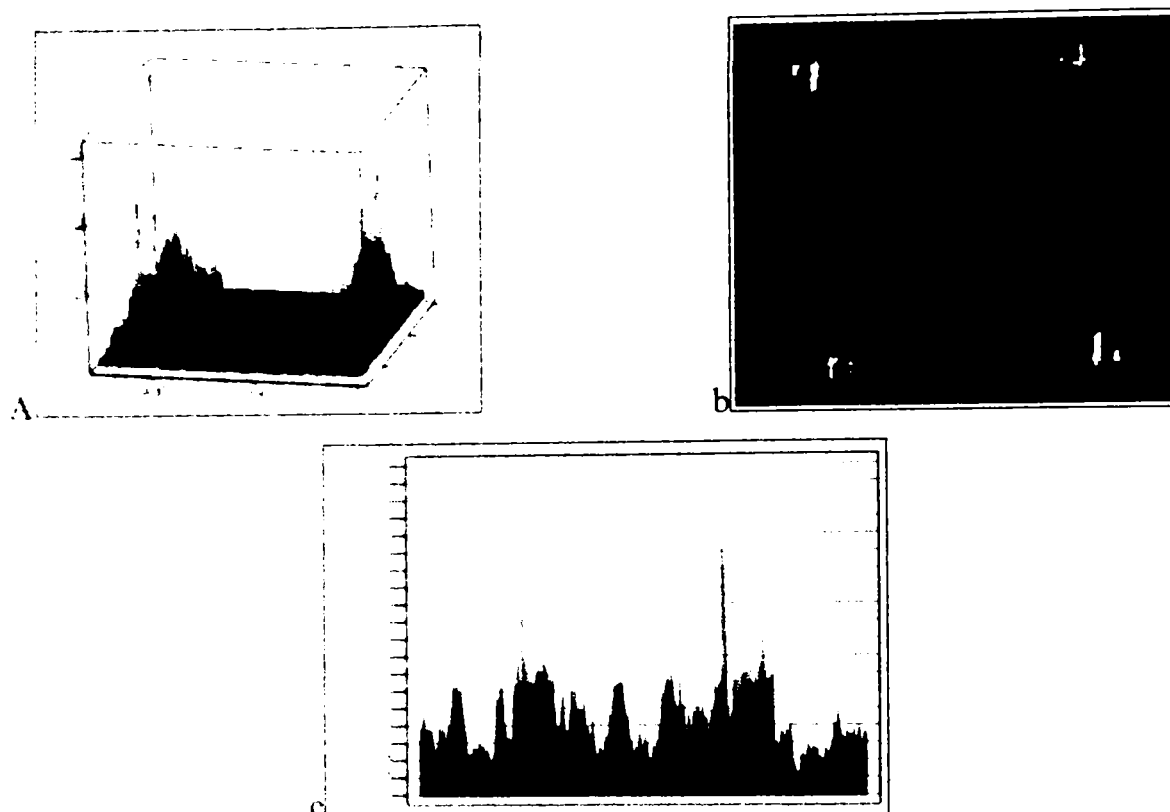


Fig. 3.7 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorului optic cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine (COTC-FmA), pentru imaginea de intrare din Fig. 3.4. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy.

- varianta 3D cu maximul central de ordinul zero blocat – se pot observa cele două linii de corelație
- varianta 2D plană a rezultatului corelației – imagine ce poate fi captată cu o cameră CCD și analizată din punct de vedere al performanțelor la recunoașterea de forme:
- varianta 2D longitudinală a unei linii de corelație (din jumătatea inferioară a variantei b) – se pot compara intensitățile maximelor de autocorelație (IMA) și corelație (IMC).

Măsurarea automată (pe calculator) a intensităților maximelor de corelație redată în figura 3.7 generează datele numerice din tabelul următor

Tabelul 3.2 Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul optic cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine (COTC-FmA), pentru imaginea de intrare din Fig. 3.4.

	IMA	IMC	CED
COTC-FmA	566827	370000	1,532

Rezultatele din tabelul 3.2 arată că deși imaginea scenei conține zgomot ambiental, caz în care corelatorul optic cu transformată comună clasic (COTC-CL) nu reușește să discrimineze imaginea de referință, introducerea unui filtru modulată în amplitudine (dat de relația (3.6)) în planul frecvențelor spațiale rezolvă această problemă printr-un coeficient $CED = 1.532$ supraunitar. Astfel corelatorul

optic cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine (COTC-FmA) este robust la zgomotul ambiental.

Acest tip de corelator este realizabil în domeniul optic prin transformarea filtrului calculat (digital cu ajutorul calculatorului) cu un algoritm asemănător celui de realizare a hologramelor Fourier digitale. În continuare însă, acest corelator posedă dezavantajul că necesită o „tăiere” neautomată a maximului de difracție de ordinul zero după procesul de corelație.

3.4 Corelatorul hibrid cu transformată comună modificat cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA)

Următorul pas în dezvoltarea corelatoarelor cu transformată comună este eliminarea automată termenilor neutili pentru procesul de corelație din spectrul de putere comun. Acești termeni formează în mare parte autocorelațiile referinței și scenei. Aceste maxime de autocorelație sunt foarte puternice și sunt localizate central, după cum se poate observa în primii doi termeni din relația (3.4). Pentru eliminarea acestor termeni în cazul corelatoarelor optice anterior prezentate se folosesc procedee de obturare mecanice, optice sau digitale (cu ajutorul calculatorului) aplicate după terminarea procesului de corelație propriu-zis [59-68]. Aceste procedee reușesc să producă o eliminare relativ bună a suprafeței acoperite de termenii neutili. Aceste suprafețe au forme neregulate și mărimea lor diferă de la un experiment la altul, fapt care necesită o anumită precauție.

Eliminarea automată, pe cale digitală se poate realiza prin extragerea spectrului de putere al imaginii de referință, $SPR(u,v)$, și a imaginii scenei, $SPS(u,v)$, din spectrul de putere comun, $SPC(u,v)$, rezultând spectrul de putere comun modificat, $SPCM(u,v)$ [27,28,33,41,46,47,54,56-58]:

$$SPCM(u,v) = SPC(u,v) - [SPR(u,v) + SPS(u,v)] \quad (3.9)$$

Denumirea de corelator **hibrid** provine de la faptul că se combină cele două tipuri de procesări ale imaginilor: optică și digitală (cu ajutorul calculatorului, un exemplu fiind cazul relației (3.9), a se vedea și subcapitolul 3.3).

În continuare se va detalia teoria ce stă la baza corelatorului hibrid cu transformată comună, modificat și cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA) [27-29,41,46,47] care este varianta corelatorului optic cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine (COTC-FmA) în care

înaintea aplicării filtrului din domeniul frecvențelor spațiale se va realiza spectrul de putere comun modificat, $SPC^m(u, v)$

Imaginea comună compusă din imaginea de referință și imaginea scenei se descrie matematic prin ecuația

$$com(x, y) = ref(x, y + y_0) + scn(x, y - y_0) \quad (3.10)$$

Dacă presupunem că în imaginea scenei este prezentă imaginea de referință, iar restul imaginii scenei ce nu reprezintă imaginea de referință va constitui zgomotul ambiental, notat cu $n(x, y - y_0)$, atunci se poate scrie

$$scn(x, y - y_0) = ref(x, y - y_0) + n(x, y - y_0) \quad (3.11)$$

și

$$com(x, y) = ref(x, y + y_0) + ref(x, y - y_0) + n(x, y - y_0) \quad (3.12)$$

Prin transformarea Fourier a relației (3.12), în planul frecvențelor spațiale se obține transformata imaginii comune

$$\begin{aligned} COM(u, v) &= REF(u, v) \cdot \exp(iv \cdot y_0) \\ &+ REF(u, v) \cdot \exp(-iv \cdot y_0) + N(u, v) \cdot \exp(-iv \cdot y_0) \end{aligned} \quad (3.13)$$

și respectiv spectrul de putere al imaginii comune deschis în detaliu

$$\begin{aligned} SPC(u, v) &= SPR(u, v) + SPR(u, v) + SPN(u, v) \\ &+ REF(u, v) \cdot REF^*(u, v) \exp(iv \cdot 2a) + REF(u, v) \cdot REF^*(u, v) \exp(-iv \cdot 2a) \\ &+ REF(u, v) \cdot N^*(u, v) \exp(iv \cdot 2a) + N(u, v) \cdot REF^*(u, v) \exp(-iv \cdot 2a) \\ &= 2 \cdot |REF(u, v)|^2 + |N(u, v)|^2 \\ &+ |REF(u, v)|^2 \cdot [\exp(iv \cdot 2a) + \exp(-iv \cdot 2a)] \\ &+ REF(u, v) \cdot N^*(u, v) \exp(iv \cdot 2a) + N(u, v) \cdot REF^*(u, v) \exp(-iv \cdot 2a). \end{aligned} \quad (3.14)$$

Având în vedere faptul că

$$\cos(\alpha) = \frac{\exp(i\alpha) + \exp(-i\alpha)}{2} \quad (3.15)$$

spectrul de putere al imaginii comune se va putea scrie sub următoarele forme:

$$\begin{aligned}
SPC(u, v) &= 2 \cdot |REF(u, v)|^2 + |N(u, v)|^2 \\
&+ 2 \cdot |REF(u, v)|^2 \cdot \cos(2va) \\
&+ REF(u, v) \cdot N^*(u, v) \exp(iv \cdot 2a) + N(u, v) \cdot REF^*(u, v) \exp(-iv \cdot 2a)
\end{aligned} \tag{3.16}$$

sau

$$\begin{aligned}
SPC(u, v) &= 2 \cdot |REF(u, v)|^2 \cdot [1 + \cos(2va)] + |N(u, v)|^2 \\
&+ REF(u, v) \cdot N^*(u, v) \exp(iv \cdot 2a) + N(u, v) \cdot REF^*(u, v) \exp(-iv \cdot 2a)
\end{aligned} \tag{3.17}$$

Spectrul de putere modificat al imaginii comune va deveni (printr-o operație pur digitală realizată cu ajutorul calculatorului) [27-29]

$$\begin{aligned}
SPCm(u, v) &= SPC(u, v) - 2 \cdot |REF(u, v)|^2 - |N(u, v)|^2 \\
&= |REF(u, v)|^2 \cdot \cos(2va) + \\
&+ REF(u, v) \cdot N^*(u, v) \exp(iv \cdot 2a) + N(u, v) \cdot REF^*(u, v) \exp(-iv \cdot 2a)
\end{aligned} \tag{3.18}$$

adică

$$\begin{aligned}
SPCm(u, v) &= REF(u, v) \cdot REF^*(u, v) \exp(iv \cdot 2a) + REF(u, v) \cdot REF^*(u, v) \exp(-iv \cdot 2a) \\
&+ REF(u, v) \cdot N^*(u, v) \exp(iv \cdot 2a) + N(u, v) \cdot REF^*(u, v) \exp(-iv \cdot 2a).
\end{aligned} \tag{3.19}$$

Prin aplicarea filtrului dat de relația (3.6) se va obține spectrul de putere modificat și cu filtru modulat în amplitudine [27-29]

$$\begin{aligned}
SPCmf(u, v) &= SPCm(u, v) \cdot \frac{1}{|REF(u, v)|} \\
&= |REF(u, v)| \cdot \exp(iv \cdot 2a) + |REF(u, v)| \cdot \exp(-iv \cdot 2a) \\
&+ \frac{REF(u, v) \cdot N^*(u, v)}{|REF(u, v)|} \exp(iv \cdot 2a) + \frac{N(u, v) \cdot REF^*(u, v)}{|REF(u, v)|} \exp(-iv \cdot 2a)
\end{aligned} \tag{3.20}$$

sau având în vedere relația (3.11) va rezulta

$$\begin{aligned}
SPCmf(u, v) &= \frac{REF(u, v) \cdot SCN^*(u, v)}{|REF(u, v)|} \exp(iv \cdot 2a) \\
&+ \frac{SCN(u, v) \cdot REF^*(u, v)}{|REF(u, v)|} \exp(-iv \cdot 2a)
\end{aligned} \tag{3.21}$$

În planul de ieșire al corelatorului studiat se va obține rezultatul corelației, sub forma:

$$\begin{aligned}
 RCor_{mf}(x,y) &= \mathcal{F}^{-1}\{SPCmf(u,v)\} \\
 &= \frac{1}{|REF|} \cdot [ref(x,y) \otimes scn(x,y+2a)] \\
 &\quad + \frac{1}{|REF|} \cdot [scn(x,y) \otimes ref(x,y-2a)] \\
 &= T_1 + T_2
 \end{aligned}
 \tag{3.22}$$

în care s-a utilizat un abuz de notare a coeficientului din fața parantezelor pentru a scoate în evidență existența filtrului, $\frac{1}{|REF|}$, din planul frecvențelor spațiale care joacă un rol important în eficiența procesului de corelație descris anterior.

Prin introducerea imaginii comune din Fig. 3.4 în planul de intrare al corelatorului (CHTC-MFmA), în planul de ieșire al acestuia se vor obține rezultatele procesului de recunoaștere de forme, sub formă grafică din figura 3.8:

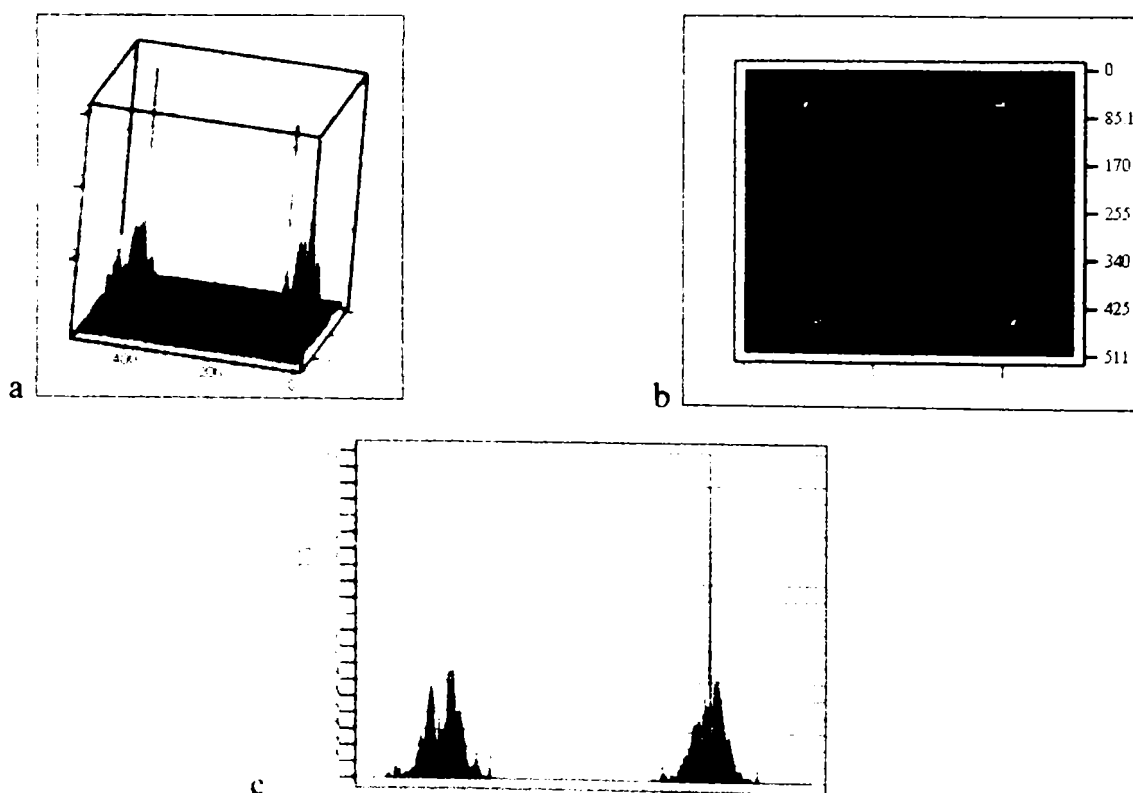


Fig. 3.8 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorului hibrid cu transformată comună modificat și cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA) pentru imaginea de intrare din figura 3.4. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy.

- a. varianta 3D cu maximul central de ordinul zero blocat automat – se pot observa cele două linii de corelație
- b. varianta 2D plană a rezultatului corelației – imagine ce poate fi captată cu o cameră CCD și analizată din punct de vedere al performanțelor la recunoașterea de forme:
- c. varianta 2D longitudinală a unei linii de corelație (din jumătatea inferioară a variantei b) – se pot compara intensitățile maximelor de autocorelație (*IMA*) și corelație (*IMC*).

și sub formă numerică din tabelul 3.3:

Tabelul 3.3 Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul optic cu transformată comună modificat cu filtru modulată în amplitudine (COTC-MFmA), pentru imaginea de intrare din Fig. 3.4.

	IMA	IMC	CED
CHTC-MfmA	500897	237500	2,109

Aceste rezultate arată că acest tip de corelator are cea mai mare eficiență în procesul de recunoaștere de forme prin cel mai mare coeficient de eficiență la detecție, $CED = 2,109$.

Corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat și cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA) elimină automat termenii neutri (centrali sau de ordinul zero, a se vedea figura 3.3 a, comparativ cu figura 3.8 a, b, c în care T_0 neutri lipsește) fapt pentru care nu mai este necesară post-procesarea imaginii de ieșire din corelator. Este un corelator robust la zgomotul ambiental și realizează maxime de corelație înguste și bine delimitate spațial, care dau o precizie mare în localizarea referinței.

3.5 Metoda practică de realizare a corelatorului hibrid cu transformată comună, modificat și cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA)

Corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat și cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA) este cel care are gradul de generalitate cel mai mare dintre toate celelalte corelatoare prezentate anterior. În plus acesta are și cele mai bune performanțe în procesul de recunoaștere de forme. Acestea sunt motivele pentru care se va prezenta metoda practică de realizare a acestui corelator hibrid (Fig. 3.9).

Primul pas este realizarea sub formă digitală a celor trei imagini: de referință, a scenei și apoi a celei comune, care se vor proiecta succesiv în planul de intrare (ce coincide cu planul focal obiect al primei lentile L_1 , care este și planul coordonatelor spațiale (x, y) în vederea realizării transformării Fourier. Forma digitală a celor două imagini se poate obține direct prin videocaptare digitală – sau pe scurt videocaptare, pentru că varianta sub formă analogică este termenul filmare – cu o cameră CCD sau prin scanarea unor imagini de pe un alt suport. Acestea vor fi stocate pe un suport digital (de tip

magnetic – dischetă, harddisk – de tip optic – compact disc). Pentru proiectarea optică a celor trei imagini digitale se poate folosi un modulator de amplitudine a luminii (termenul tehnic în engleză este Spatial Light Modulator – SLM, vezi anexa 1) [69-79]. Acest modulator realizează modularea amplitudinii luminii cu ajutorul unui ecran cu cristale lichide compus dintr-o matrice de elemente modulante (de tipuri diferite) ce pot să modifice intensitatea luminii pe 256 de niveluri.

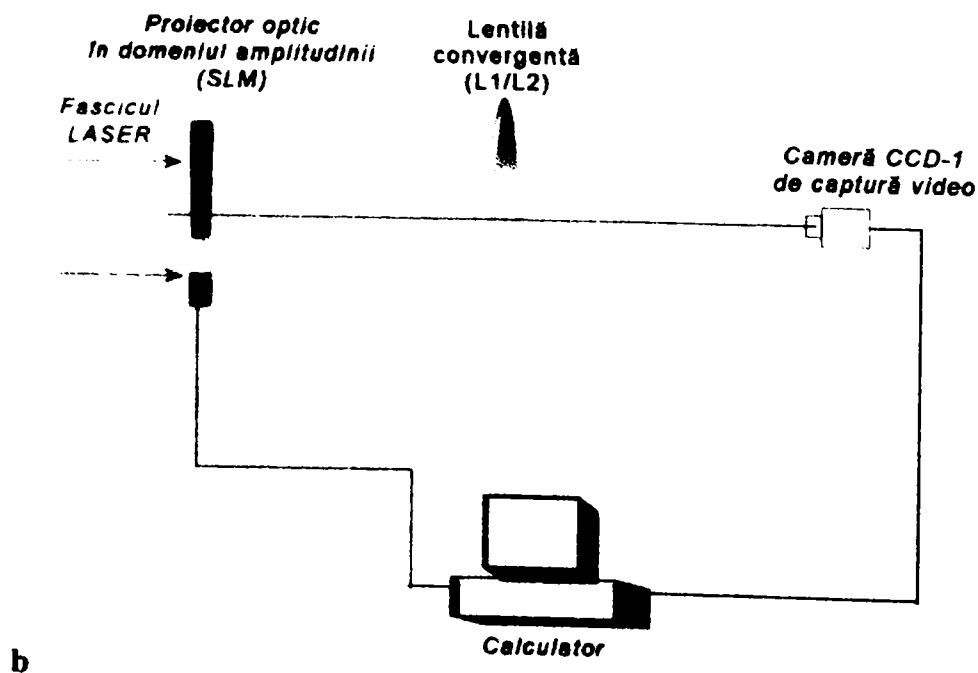
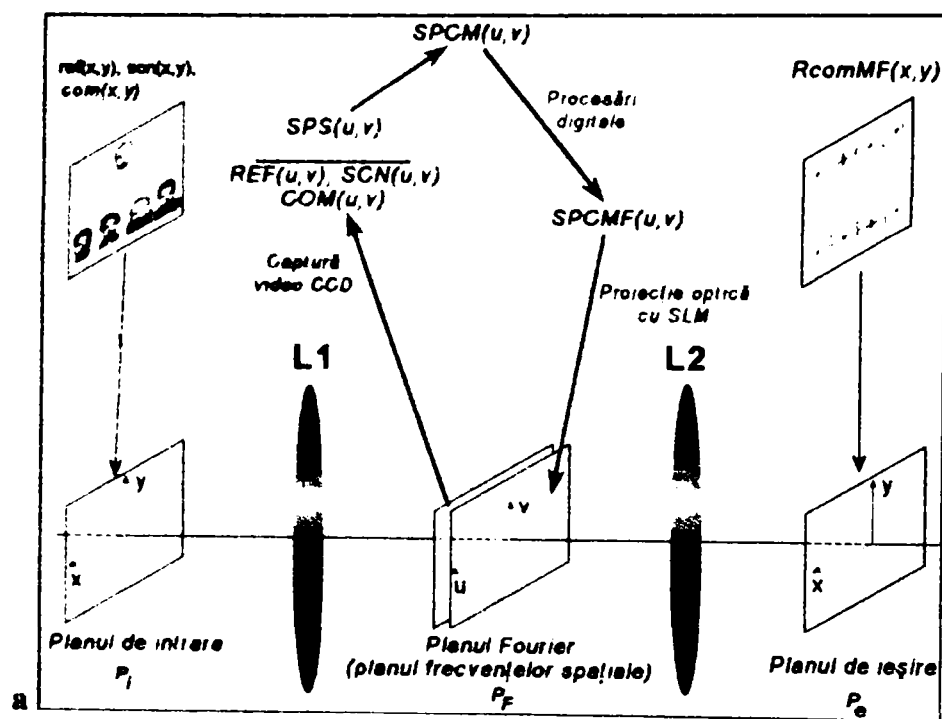


Fig. 3.9 Schema de realizare a corelatorului hibrid cu transformată comună (în domeniul amplitudinii) modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFMA): a – de principiu, b – optică.

Al doilea pas este realizarea transformatei Fourier (pe cale optică) cu ajutorul primei lentile. Se vor obține succesiv spectrele de putere ale imaginii de referință, a imaginii scenei și a imaginii comune. Intensitatea luminoasă a acestora se poate videocapta (digital) cu o cameră CCD și apoi stoca sub formă digitală.

Al treilea pas presupune efectuarea modificării spectrului de putere comun, așa cum arată relația (3.9), rezultând spectrul de putere modificat al imaginii comune. Tot în acest pas, în planul frecvențelor spațiale, se va filtra acest spectru de putere modificat cu filtrul dat de relația (3.6). Rezultatul acestei filtrări este spectrul de putere modificat și filtrat al imaginii comune. Toate operațiile efectuate în acest pas sunt pur digitale (realizate cu ajutorul unui calculator, cu un program de calcul), iar rezultatul va fi proiectat optic în planul frecvențelor spațiale cu ajutorul unui modulator de amplitudine al luminii (SLM).

Al patrulea pas este transformarea Fourier (pe cale optică) a spectrului de putere modificat și filtrat al imaginii comune. Această transformare se realizează cu ajutorul lentilei L_2 și constituie de fapt corelația optică a imaginii de referință cu imaginea scenei. Rezultatul acestei corelații se videocaptează (digital, sub forma unei inagini) cu o cameră CCD, după care se analizează digital automat pe calculator, din punct de vedere al procesului de recunoaștere de forme, fapt care constituie ultimul pas.

3.6 Simularea pe calculator a recunoașterii de forme cu corelatoarele optice și hibride în domeniul amplitudinii cu transformată comună

Din aceleași motive expuse în subcapitolul anterior se va realiza metoda de simulare pe calculator a recunoașterii de forme cu corelatorul hibrid cu transformată comună (în domeniul amplitudinii) modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA), care le include și pe cele aferente celorlalte corelatoare.

Simularea pe calculator decurge după același algoritm descris în subcapitolul anterior, de aceea în continuare se vor descrie datele tehnice pentru realizarea acestei simulări. În acest scop s-a realizat videocaptarea imaginilor din figura 3.10 (în format *bitmap* – BMP, cu 255 de niveluri de gri) cu o cameră CCD Philips ToUcam Pro modelul PCVC 740K. Aceste imagini reprezintă fețe de om și au

dimensiunea de 120x160 de pixeli. Imaginile au fost preluate în lumină naturală, la rezoluția cea mai mică pentru a putea testa procesul de recunoaștere a formelor în condițiile cele mai dezavantajoase, așa cum există și în realitatea fizică.

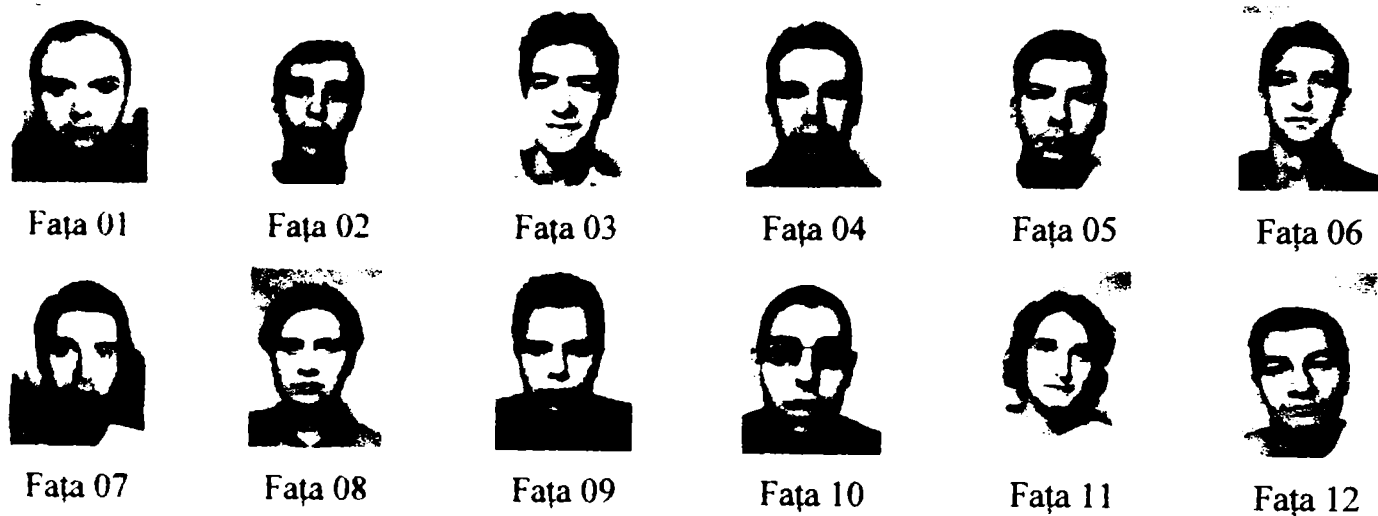


Fig. 3.10 Bază de date de fețe umane (imagini în format bitmap – BMP, cu 255 de niveluri de gri).

Ca imagine de referință, din setul dat, s-a ales imaginea cu indexul „Fața 01”. Restul imaginilor au fost utilizate, împreună cu cea de referință, la construirea imaginilor scenei, respectiv a imaginilor comune. După testarea tuturor acestor imagini în procesul de recunoaștere de forme cu imaginea de referință s-au ales doar câteva pentru a putea măsura performanțele corelatoarelor discutate în acest capitol.

Imaginile videocaptate alese s-au organizat în mai multe feluri pentru a compune imaginile comune de test. În aceste imagini comune, în jumătatea imaginii scenei se regăsește și imaginea de referință sau martor (referința deformată). Fiecărei imagini comune de test i s-a dat un cod după cum se poate vedea în figura 3.11. Pentru o imagine comună care are în jumătatea ei două imagini videocaptate (fețe de om) va avea un „2N” la început. Dacă imaginea comună va avea o dimensiune de 256x256 de pixeli atunci în codul imaginii se va adăuga „256”, iar dacă o imagine videocaptată care reprezintă imaginea de referință perturbată cu un zgomot aditiv uniform (de intensitate 50%) atunci se mai adaugă la sfârșitul codului litera „z”.

Imaginile comune de dimensiune 512x512 de pixeli sunt cele care conțin imaginile videocaptate la dimensiunea reală. Imaginile comune de dimensiune 256x256 de pixeli sunt imaginile comune de dimensiune 512x512 de pixeli scalate la 50%. S-a ales această situație pentru a măsura performanțele corelatoarelor studiate în condițiile în care rezoluția de definiție a imaginilor comune este foarte mică ceea ce ar putea duce la suprapunerea maximelor de corelație astfel încât procesul de recunoaștere să nu aibă succes, sau cel puțin să aibă eficiențe foarte mici ($CED \approx 1,100$). Tot din acest motiv s-au realizat imaginile comune cu codurile „4N256”, „4N512” și „4N512x”, care conțin patru imagini videocaptate (fețe de om) la dimensiuni normale – pentru primele două amintite – și la

dimensiuni reduse la 50% - pentru cea de-a treia amintită – și la rezoluții diferite (256×256 de pixeli și 512×512 de pixeli) pentru ca studiul să fie complet.

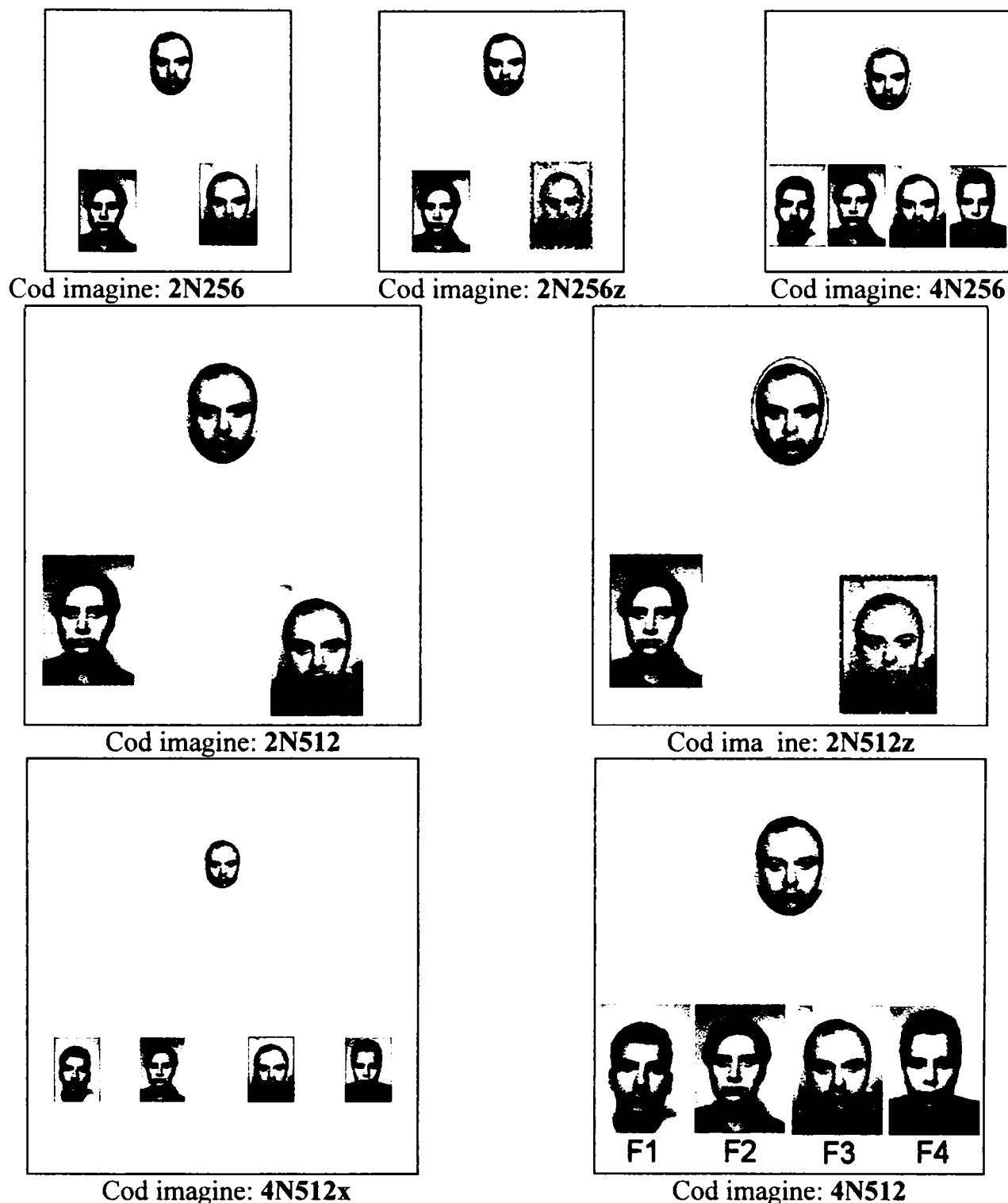


Fig. 3.11 Setul de configurații al imaginilor comune de intrare utilizate pentru măsurarea și compararea performanțelor corelatoarelor optice și hibride cu transformată comună.

Aceste șapte imagini comune au fost introduse succesiv în planul de intrare al fiecărui corelator cu transformată comună studiat anterior. Programele de simulare (inclusiv cele de generare a imaginilor comune) au fost realizate în limbajul Borland Pascal 7.0 și compilate în modul protejat (DMPI). Utilizarea modului protejat de compilare al aplicațiilor a permis realizarea tuturor operațiilor în memoria RAM a calculatorului și a se ajunge la performanțe de 2,15 secunde pentru o transformare

Fourier a unei matrice complexe de dimensiune 256×256 , 8,90 secunde pentru o transformare Fourier a unei matrice complexe de dimensiune 512×512 și 37,68 secunde pentru o transformare Fourier a unei matrice complexe de dimensiune 1024×1024 . Rezultatele procesului de corelație pot fi reprezentate atât 3D cât și în proiecții 2D cu același program de reprezentare 3D de date.

Imaginile comune de test care conțin patru imagini videocaptate (de tip față de om) în imaginea scenei, vor avea aceste imagini indexate (cu F1, F2, F3, F4) după cum se poate vedea în figura 3.11, imaginea cu codul „4N512”.

3.7 Rezultatele simulării numerice a recunoașterii de cu corelatoarele optice și hibride în domeniul amplitudinii cu transformată comună

În figurile 3.12, 3.13, 3.14, se prezintă sub formă grafică rezultatele procesului de corelație din recunoașterea de forme cu corelatoarele cu transformată comună în domeniul amplitudinii studiate anterior. Aceste reprezentări grafice constituie o secțiune 2D longitudinală a unei linii de corelație din care se pot măsura automat (cu ajutorul calculatorului) intensitățile maximelor de autocorelație (*IMA*) și corelație (*IMC*) și în final coeficienții de eficiență la detecția imaginii de referință în imaginea scenei (*CED*). Fiecare imagine ce constituie un rezultat al procesului de corelație are atașat și codul imaginii comune cu care s-a realizat (a se vedea figura 3.11).

Aspectul cel mai important care se poate desprinde din aceste figuri este evoluția lărgimii maximelor de corelație de la un model de corelator la celălalt. Modelul de corelator optic cu transformată comună clasic, (COTC-CL), are maxime de autocorelație foarte largi pentru toate imaginile comune de intrare considerate, localizarea imaginii de referință realizându-se astfel foarte greu (figura 3.12). Corelatorul optic cu filtru modulat în amplitudine cu transformată comună, (COTC-FmA), are maxime de autocorelație înguste pentru aproape toate imaginile comune de intrare considerate, mai puțin pentru imaginile de intrare cu codurile 4N256 și 4N512, localizarea imaginii de referință realizându-se astfel mai ușor decât la modelul precedent. Dintre aceste modele de corelatoare cu transformată comună, corelatorul hibrid modificat și cu filtru modulat în amplitudine cu transformată comună, (CHTC-MFmA), are maxime de autocorelație înguste pentru toate imaginile comune de intrare considerate și cea mai bună localizare a imaginii de referință.

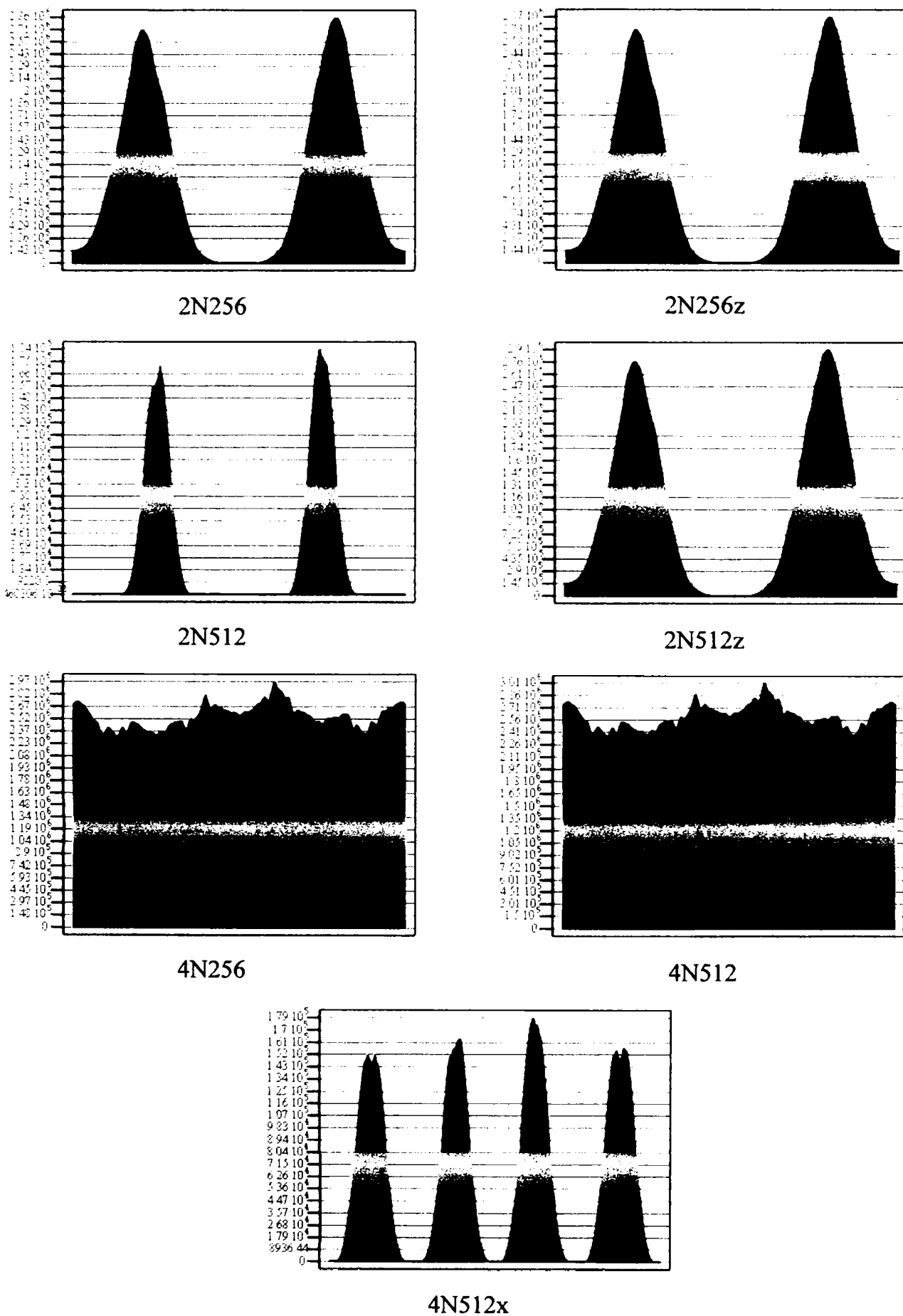


Fig. 3.12 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de ieșire a corelatorului hibrid cu transformată comună clasic (CHTC-CL) pentru imaginile comune de intrare din Fig. 3.11. Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox .

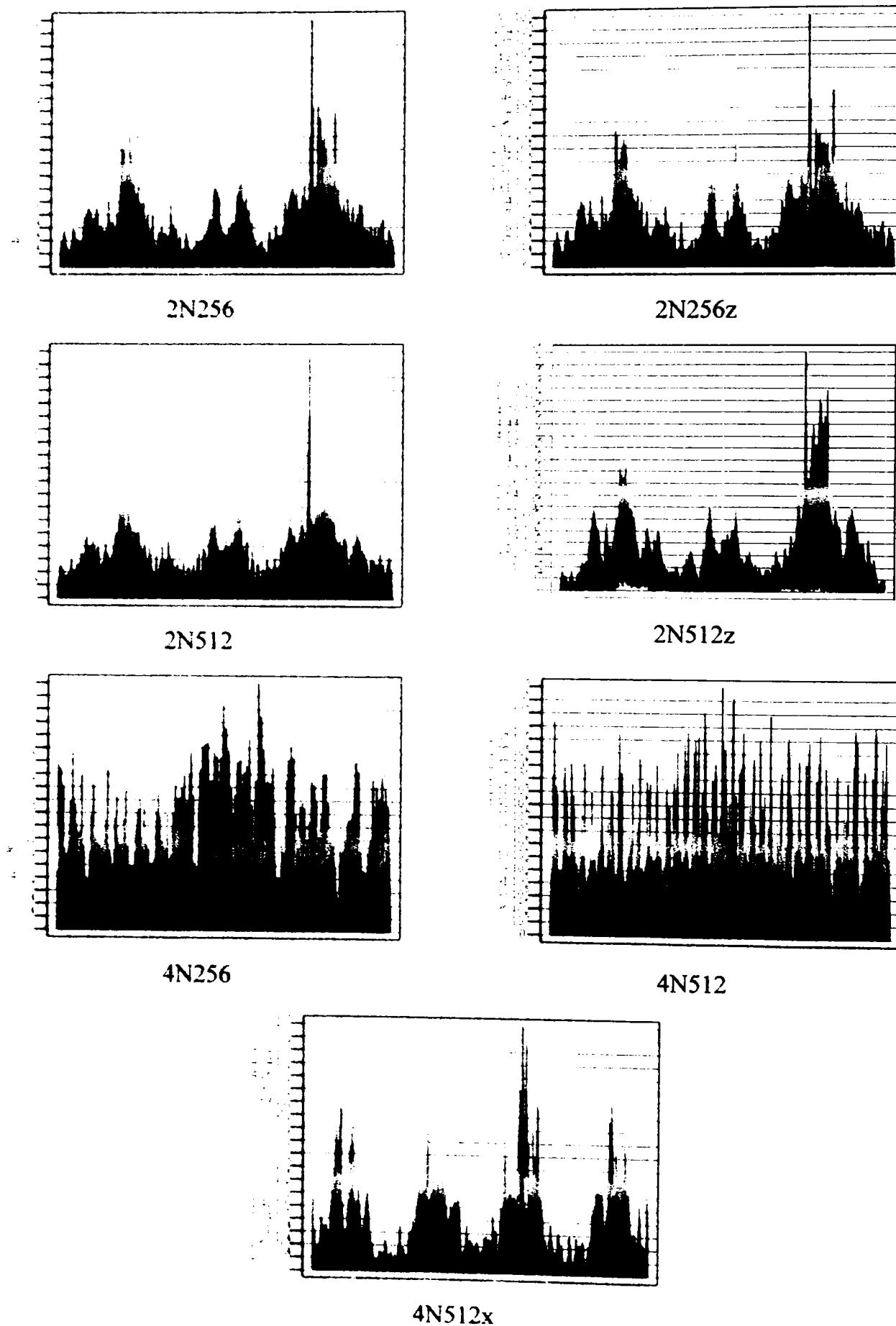


Fig. 3.13 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de ieșire a corelatorului optic cu transformată comună cu filtru modulat în amplitudine (COTC-FmA) pentru imaginile comune de intrare din Fig. 3.11. Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox.

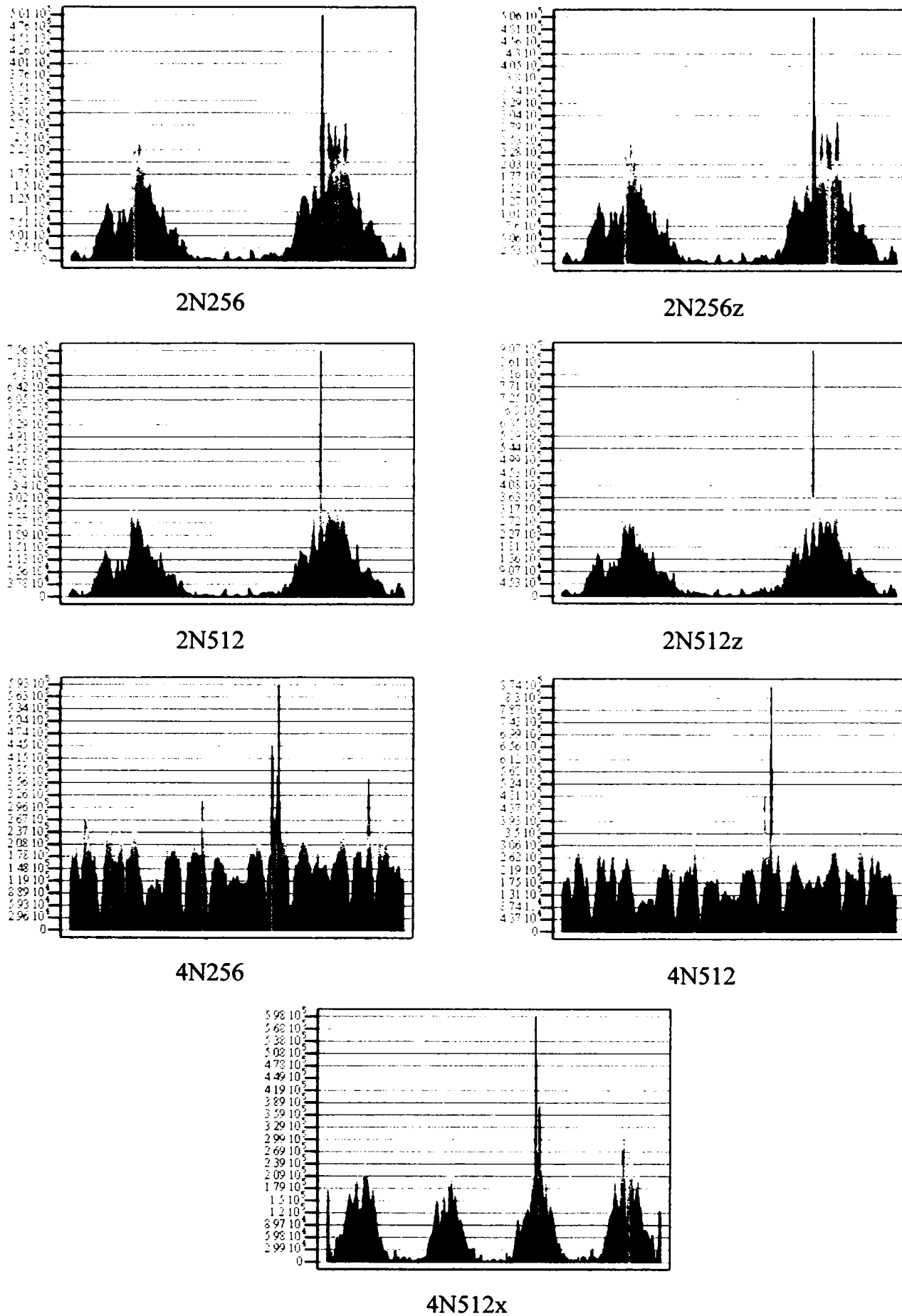


Fig 3.14 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de ieșire a corelatorului hibrid cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA) pentru imaginile comune de intrare din Fig. 3.11. Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox.

Determinând cei trei parametri cantitativi ce caracterizează eficiența procesului de corelație, din reprezentările grafice date în figurile 3.12, 3.13, 3.14, se pot rezuma sub formă numerică cele trei tabele corespunzătoare, tabelul 3.4, 3.5 și respectiv 3.6.

În cazul coeficienților CED determinați pentru imaginile comune ce conțin doar două imagini videocaptate (fețe de om) în imaginea scenei, aceștia se calculează și interpretează ușor. Se determină intensitatea maximului de autocorelație, IMA , prin măsurarea celui mai mare maxim de corelație. Acest maxim localizează imaginea de referință, în imaginea scenei. Se determină intensitatea celui alt maxim de corelație prin măsurarea celui mai mic maxim de corelație, rezultând IMC . În acest moment se poate calcula coeficientul de eficiență la detecție, $CED = \frac{IMA}{IMC}$, pentru corelatorul studiat și pentru imaginea comună plasată în planul de intrare al acestuia.

În cazul în care în imaginea scenei sunt prezente patru imagini videocaptate (fețe de om) din care una redă imaginea de referință coeficienții CED se determină identic ca și în cazul precedent, cu două imagini videocaptate. Diferența este că imaginile videocaptate trebuie indexate (de exemplu cu F1, F2, F3, F4, ca și în figura 3.11 imaginea cu codul 4N256). Se caută maximul de autocorelație (cel mai mare), IMA , care corespunde localizării imaginii de referință, după care se citesc toate maximele de corelație existente, $IMC_1 - F1 \dots IMC_4 - F4$. Se calculează coeficienții de eficiență la detecție pentru fiecare imagine videocaptată indexată în parte. $CED_i, i = \overline{1,4}$.

Interpretarea acestor patru coeficienți este puțin mai dificilă. Pentru o interpretare mai facilă s-a intercalat între celelalte imagini chiar imaginea de referință (cu zgomot ambiental), a cărei localizare este cunoscută. Această imagine de referință din imaginea scenei joacă rolul de **imagine martor** – adică oferă o măsură de comparație a maximelor de corelație. Ea este indexată ca și celelalte imagini și astfel vom întâlni pentru ea coeficientul $CED \cong 1$. Acest coeficient unitar nu descrie o eșuare a procesului de detecție, ci o separare a acestuia de mulțimea celorlalți pentru o interpretare corectă. Ca urmare doar restul coeficienților de eficiență la detecție vor fi considerați pentru evaluarea performanțelor corelatorului în discuție și chiar a procesului de recunoaștere de forme în sine. Respectivii coeficienți de eficiență la detecție trebuie să fie cel puțin supraunitari, mai precis mai mari decât valoarea de prag $CED_{prag} = 1,200$ - recomandată de literatura de specialitate [27-29], pentru ca procesul de recunoaștere de forme să aibă succes.

Exemplificarea acestei proceduri se va face pentru imaginea cu codul 4N256 și corelatorul optic cu transformată comună clasic, (COTC-CL). Imaginea martor (cu codul F3) va genera intensitatea maximului de autocorelație $IMA = 2,97E + 06 \cong IMC_3$ și un coeficient $CED = 1,000$. Imaginile cu codurile F1, F2, F4, vor genera intensitățile maximelor de corelație $IMC_1 = 2,75E + 06$,

$IMC_2 = 2,82E + 06$, $IMC_4 = 2,75E + 06$ și corespunzător coeficienții $CED_1 = 1,080$, $CED_2 = 1,053$, $CED_4 = 1,080$ (tabelul 3.4). Dintre acești trei coeficienți de eficiență la detecție se va considera coeficientul cu valoarea minimă, $CED = 1,053$, pentru a caracteriza performanța la recunoașterea de forme în cazul corelatorului optic cu transformată comună clasic, (COTC-CL) cu imaginea de intrare 4N256.

Tabelul 3.4 Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul optic cu transformată comună clasic (COTC-CL), pentru imaginile comune de intrare din Fig. 3.11.

	2N256	2N256z	2N512	2N512z
IMA	2,86E+06	2,87E+06	1,84E+05	2,90E+06
IMC	2,71E+06	2,73E+06	1,70E+05	2,76E+06
CED	1,055	1,051	1,082	1,051

4N256		4N512		4N512x		
IMA	2,97E+06	CED	IMA 3,01E+06	CED	IMA 1,79E+05	CED
IMC-F1	2,75E+06	1,080	IMC-F1 2,80E+06	1,075	IMC-F1 1,52E+05	1,178
IMC-F2	2,82E+06	1,053	IMC-F2 2,86E+06	1,052	IMC-F2 1,64E+05	1,091
IMC-F3 (martor)	2,97E+06	1,000	IMC-F3 (martor) 3,01E+06	1,000	IMC-F3 (martor) 1,79E+05	1,000
IMC-F4	2,75E+06	1,080	IMC-F4 2,80E+06	1,075	IMC-F4 1,48E+05	1,209
		1,053		1,052		1,091

Tabelul 3.5

Compararea performanțelor maxime ale corelatoarelor optice și hibride în domeniul amplitudinii cu transformată comună exprimate prin valoarea coeficientului de eficiență la detecție, CED , generate în aceleași condiții (parametrii de intrare).

	CED	2N256	2N256z	2N512	2N512z	4N256	4N512	4N512x
COTC-CL		1,055	1,051	1,082	1,051	1,053	1,052	1,091
CHTC-MFmA		2,104	2,108	2,800	2,861	1,647	2,106	2,000
Raportul CED		1,994	2,006	2,588	2,722	1,564	2,001	1,832
COTC-FmA		1,091	1,875	1,994	1,865	1,113	1,067	1,461
CHTC-MFmA		2,104	2,108	2,800	2,861	1,647	2,106	2,000
Raportul CED		1,929	1,124	1,404	1,534	1,480	1,974	1,369

Compararea rezultatelor procesului de corelație cu corelatoarele optice și hibride în domeniul amplitudinii este redată în tabelul 3.5 prin raportul coeficienților la detecție, CED , în cazul fiecărei imagini comune de intrare din figura 3.11 – s-au marcat cu altă culoare de fond valorile cele mai mici ale acestor rapoarte.

3.8 Concluzii

Rezultatele prezentate anterior, sub formă grafică și numerică, pot caracteriza complet cele trei corelatoare cu transformată comună, în domeniul amplitudinii, descrise în acest capitol. Aceste rezultate confirmă încă o dată concluziile desprinse pentru fiecare corelator în parte și enunțate anterior, și anume că cel. mai performant corelator cu transformată comună, din punct de vedere al recunoașterii de forme, este corelatorul hibrid modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA). Acest lucru se poate observa și din graficele comparative redate în figurile 3.15 și 3.16. Evident acest model de corelator realizează cele mai înguste maxime de corelație și cea mai bună discriminare (cel mai mare coeficient CED) pentru toate imaginile comune de test din figura 3.11. Mai mult, acesta este singurul corelator care la creșterea rezoluției de definiție a imaginilor comune (de la 256×256 de pixeli la 512×512 de pixeli) sau la mărirea spațierii dintre imaginile componente din imaginea scenei, prezintă o creștere substanțială a coeficientului de eficiență la detecție CED în fiecare din cazuri. Această comportare este normală și ar trebui să fie prezentă și pentru celelalte corelatoare.

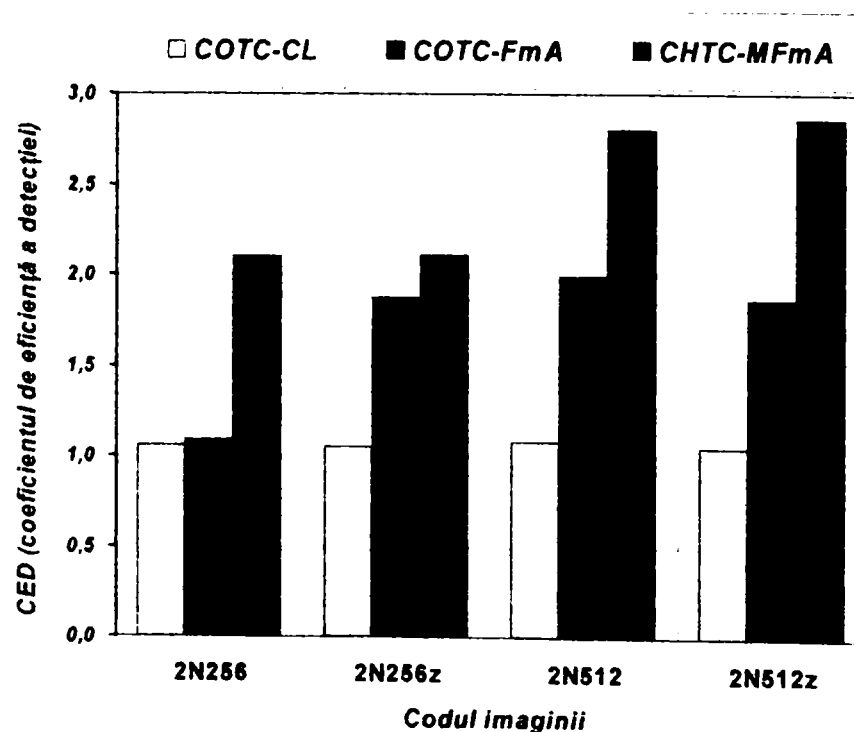


Fig. 3.15 Performanțele corelatoarelor studiate pentru imagini de intrare ce conțin două imagini de comparat în imaginea scenei

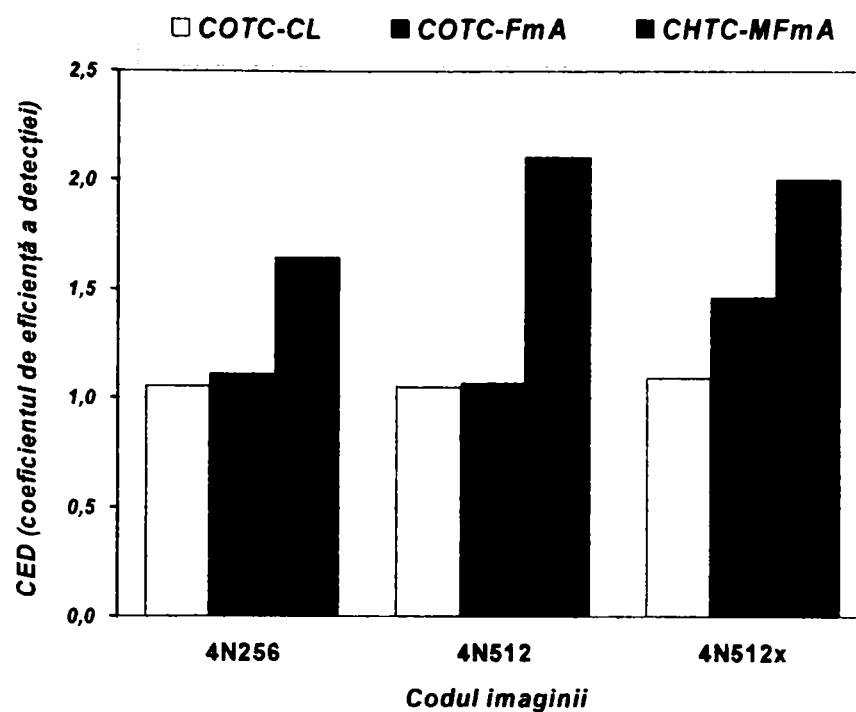


Fig. 3.16 Performanțele corelatoarelor studiate pentru imagini de intrare ce conțin patru imagini de comparat în imaginea scenei.

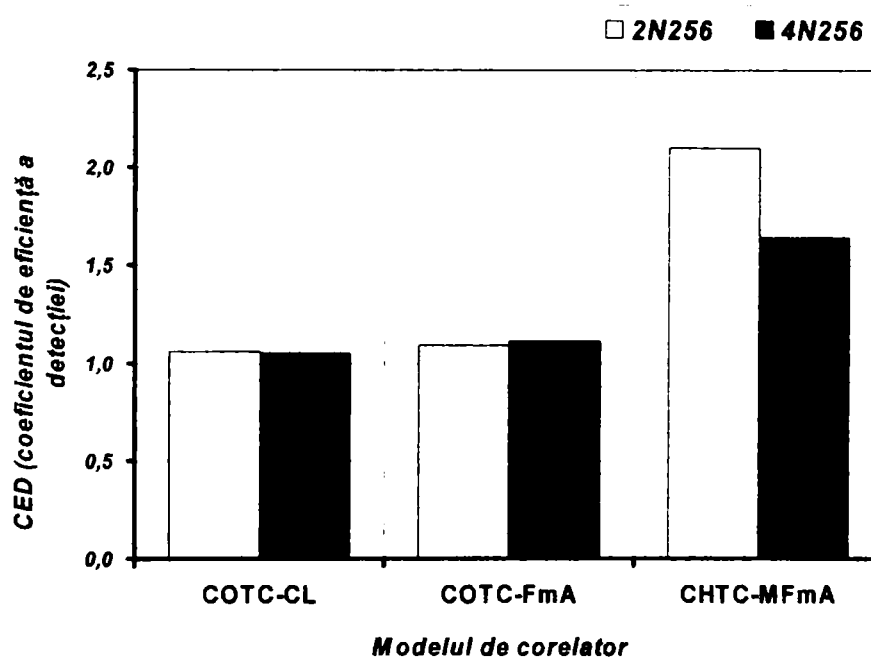


Fig. 3.17 Robuștea corelatoarelor în domeniul fazei cu transformată comună, la modificarea spațierii imaginilor de comparat și imaginea de referință – cazul imaginilor componente cu definiție mică.

O altă concluzie subliniază importanța „gradului de umplere” a imaginii scenei cu zgomot ambiental – reprezentat de imaginile care nu reprezintă imaginea martor – pentru performanțele corelatoarelor studiate în procesul de recunoaștere. Mărirea în acest scop a zgomotului ambiental (adică trecerea de la imagini de intrare cu codul 2N256 la 4N256) nu scade în mod substanțial coeficienții de eficiență la detecție (figura 3.17).

Modificarea rezoluției (definiția) imaginilor componente ale imaginii comune, prin trecerea de la imagini cu codul 2N256 la 2N512, dar mai ales de la 4N256 la 4N512, crește substanțial (27,8%) coeficientul de eficiență la detecție CE_D , de la valoarea $CE_D = 1,647$ la $CE_D = 2,106$, în cazul corelatorului hibrid modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA) (figura 3.18). Aceste două valori ale coeficientului CE_D sunt cele mai mici (din setul respectiv de trei, corespunzătoare imaginilor non-referință) pentru cele două imagini de intrare alese (4N256 și respectiv 4N512). Se poate spune astfel că pentru corelatorul hibrid modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA) există o metodă de verificare precisă a rezultatelor procesului de recunoaștere de forme, prin mărirea rezoluției imaginilor componente ale imaginilor comune, și implicit mărirea dimensiunilor (în pixeli) a imaginilor videocaptate și a imaginilor comune. Dovada și mai elocventă este exemplul imaginii comune cu codul 4N512x. Această imagine are o definiție mică a imaginilor videocaptate, dar are o separare spațială mai bună între imaginea martor și restul imaginilor de tip non-referință ce reprezintă zgomotul ambiental, prin dimensiuni mari ale imaginii comune (512×512 de pixeli) (figura 3.18 și 3.19). Această imagine comună proiectată ca imagine de intrare, în cazul corelatorului hibrid modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA), va genera un $CE_D = 2,000$ foarte apropiat de coeficientul generat de imaginea comună cu codul 4N512 – care însă are o rezoluție de două ori mai bună.

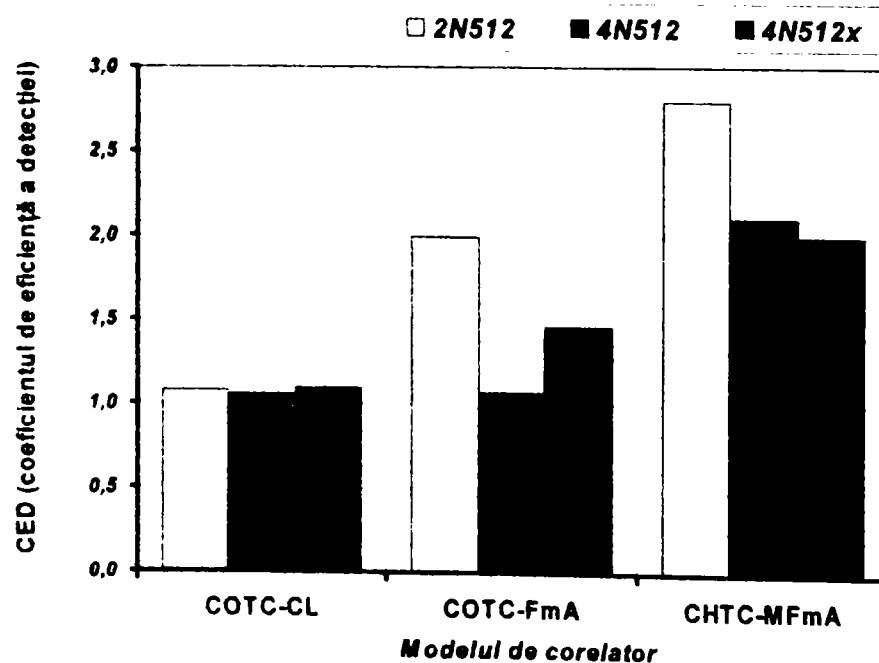


Fig. 3.18 Robuștețea corelatoarelor în domeniul fazei cu transformată comună, la modificarea spațierii imaginilor de comparat și imaginea de referință – cazul imaginilor componente cu definiție mare (512x512 pixeli).

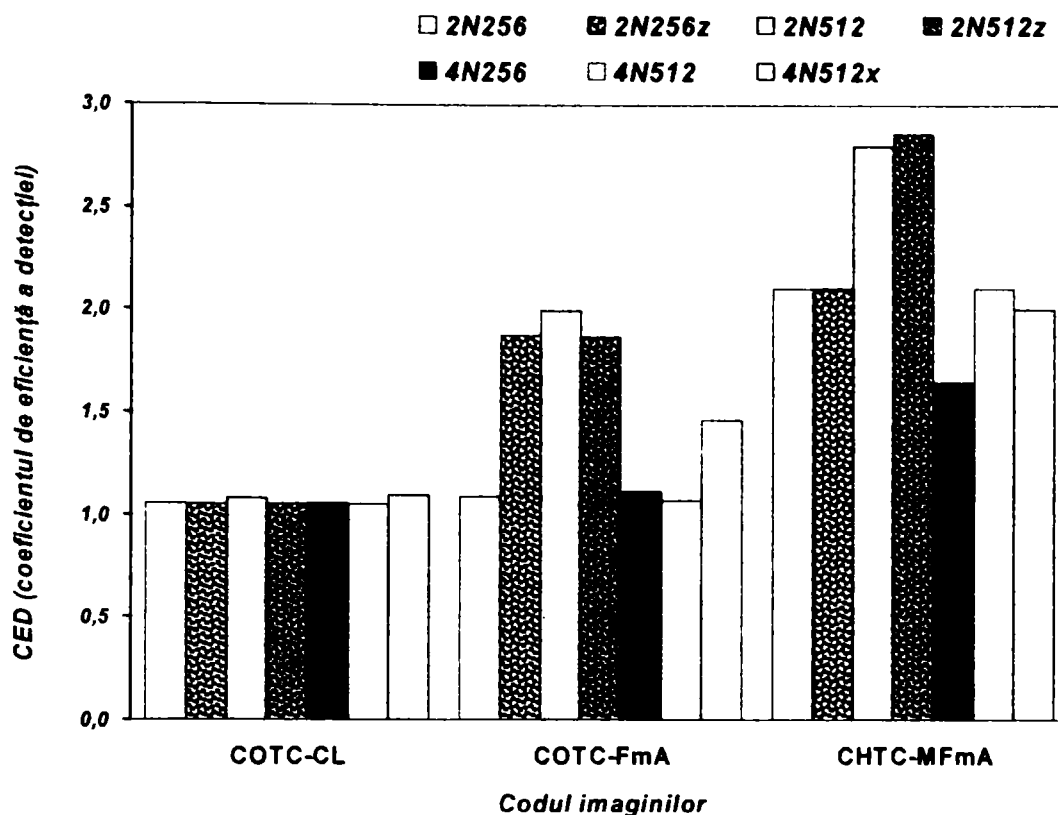


Fig. 3.19 Compararea performanțelor corelatoarelor hibride în domeniul amplitudinii cu transformată comună, pentru toate imaginile comune de intrare din figura 3.11.

Analiza de mai sus permite să afirmăm că cel mai performant corelator în domeniul amplitudinii este corelatorul hibrid cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA). Acesta generează cei mai mari coeficienți de eficiență la detecție – adică cea mai bună discriminabilitate (tabelul 3.5 și figurile 3.15, 3.16 și 3.19) – și cele mai înguste maxime de corelație – adică o foarte bună localizare spațială a imaginii de referință detectate (figurile 3.12, 3.13 și 3.14). În figura 3.19 se poate observa că imaginea comună care generează cei mai mari coeficienți de eficiență la detecție este cea cu codul 2N512, care are de fapt cea mai bună rezoluție a imaginilor componente și cea mai bună separabilitate spațială între acestea. Ca urmare a acestor concluzii, dintre corelatoarele în domeniul amplitudinii, se va lua în considerare pentru analizele comparative ulterioare doar corelatorul hibrid cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA).

Analiza corelatoarelor în domeniul amplitudinii realizat în capitolul anterior arată rolul important al modulatorilor în amplitudine a luminii (SLM – spatial light modulator) în asigurarea performanțelor acestor corelatoare în procesul de recunoaștere de forme.

În prezent performanțele acestor modatoare de amplitudine a luminii (SLM) [69-79] sunt foarte bune, cu o definiție de până la 4096x4096 de pixeli (în mod experimental) la o rată de afișare de până la 15fps (flops per second – imagini pe secundă) și o adâncime a culorilor de 256 de niveluri. Cu toate acestea în literatura de specialitate [32], se arată că modulatorile de fază a luminii (PSLM –

phase spatial light modulator) [80-87], utilizate în așa numitele corelatoare în domeniul fazei cu transformată comună generează coeficienți de eficiență la detecție mai mari decât modelele omoloage în domeniul fazei, adică au performanțe la recunoașterea de forme mai bune. Această remarcă a dus la necesitatea abordării corelatoarelor optice și hibride în domeniul fazei cu transformată comună, a căror descriere și analiză sunt realizate în capitolele următoare.

Capitolul 4.

Corelatoare optice și hibride în domeniul fazei cu transformată comună

4.1 Introducere

Din dorința de a depăși anumite limite, tehnica de modulare în amplitudine a fost extinsă și în domeniul fazei. Astfel s-au dezvoltat modulatorii de fază a luminii (PSLM – Phase Spatial Light Modulator) [80-87]. Performanțele actuale ale modulatorilor de fază a luminii (PSLM) din punct de vedere al rezoluției și vitezei de afișare sunt aceleași ca și în cazul modulatorilor de amplitudine (SLM). Din punct de vedere al adâncimii de modulare în fază s-au raportat și testat comercial modulatorii (PSLM) cu adâncimi de 110 niveluri și 256 niveluri ale domeniului de fază cuprins între $[0; \pi]$, $[0; 1,2\pi]$, $[0; 1,4\pi]$, $[0; 1,6\pi]$ și chiar $[0; 2\pi]$, prin modulare directă, la fel ca și în cazul modulatorilor de amplitudine (SLM).

Noile modulatorii de fază a luminii (PSLM) au fost utilizate inițial pentru generarea filtrelor complexe (simultan de amplitudine și fază) ideale care au îmbunătățit eficiența la difracție în procesele care până atunci foloseau filtre complexe generate holografic sau filtre complexe simulate digital numai în domeniul amplitudinii.

În domeniul corelației optice ele au reușit să fie implementate ușor cu rezultate foarte bune. Problema cea mai mare pentru sistemele de corelație ce folosesc domeniul fazei este că sunt mult mai sensibile la zgomot (ambiental sau aditiv) decât cele în domeniul amplitudinii.

Autorul a reușit să preia un model de corelator din domeniul amplitudinii și să-l transforme într-un corelator în domeniul fazei cu performanțe mai bune. Acest corelator se va numi corelatorul

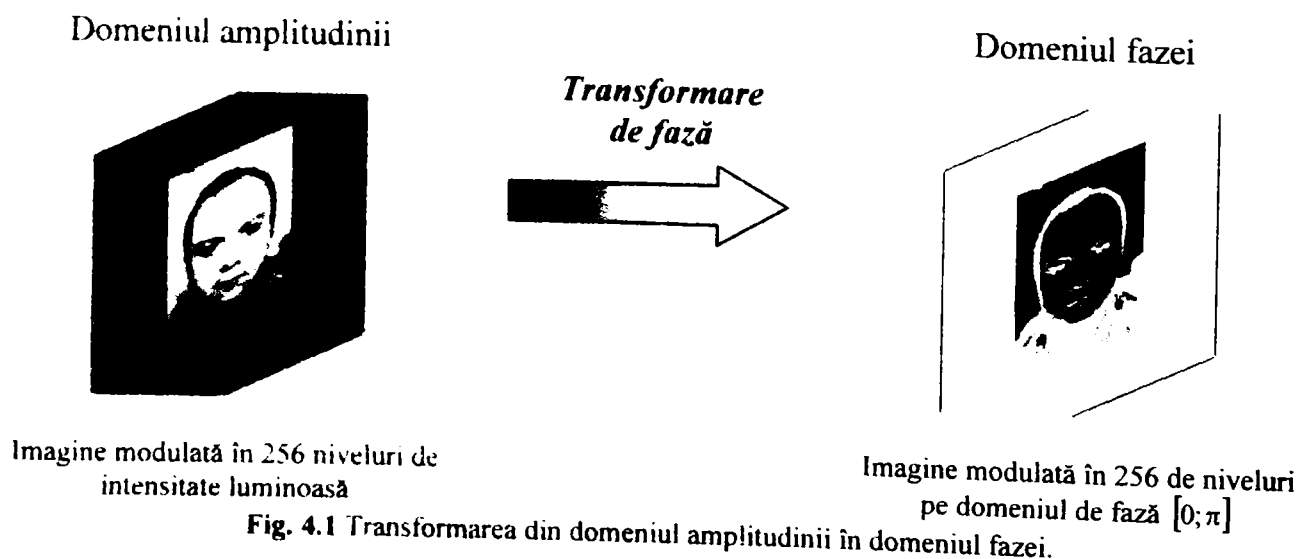
hibrid cu transformată comună în domeniul fazei modificat și cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-MFmA). Această transformare a corelatorului din domeniul amplitudinii (CHTC-MFmA) în cel al fazei (FCHTC-MFmA) este una din contribuțiile originale la dezvoltarea corelatoarelor optice și hibride cu transformată comună.

Contribuția originală cu cea mai mare importanță este cea de a fi elaborat corelatorul hibrid cu transformată comună în domeniul fazei cu intrare preprocesată, modificat și cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA). Acest model de corelator propune o preprocesare în domeniul fazei a imaginii de intrare în așa fel încât coeficientul de eficiență la detecție poate crește substanțial iar eficiența la difracție, respectiv corelație, dată de finețea cât mai mare a maximelor de autocorelație, este net superioară.

Pentru o analiză completă în acest capitol se vor prezenta și variantele intermediare care au făcut posibilă apariția celor două corelatoare noi, propuse.

4.2 Transformarea din domeniul amplitudinii în domeniul fazei

Transformarea de fază constă în trecerea de la nivelurile de intensitate în amplitudine a imaginii de intrare în niveluri de fază (figura 4.1) [80-95]. Imaginea în domeniul fazei nu se vede cu ochiul liber. Pentru a putea ilustra totuși transformarea de fază autorul a redat în 256 niveluri de gri valorile imaginii de fază. Imaginea rezultată în acest exemplu este aproape identică cu imaginea negativă a celei de amplitudine. Acest lucru nu se întâmplă totdeauna așa cum se poate observa în continuare.



Matematic o imagine descrisă de funcția $a(x,y)$ definită pe domeniul $[\min a; \max a]$ de amplitudine se va transforma într-o imagine de fază definită pe domeniul de fază $df = f_2 - f_1$ prin transformarea de fază $Tf[\circ]$, în modul următor

$$Tf[a(x,y)] = f_1 + df \cdot \left[\frac{a(x,y) - \min a}{\max a - \min a} \right] \quad (4.1)$$

unde

$\min a$ - reprezintă valoarea minimă a intensității luminoase a imaginii modulată în amplitudine, $a(x,y)$

$\max a$ - reprezintă valoarea maximă a intensității luminoase a imaginii modulată în amplitudine, $a(x,y)$

f_1 - reprezintă valoarea minimă a domeniului fazei

f_2 - reprezintă valoare maximă a domeniului fazei

$df = f_2 - f_1$ - reprezintă domeniul de fază sau adâncimea de fază pe care va fi definită imaginea de intrare a corelatorului.

Notarea transformatei de fază cu $Tf[\circ]$, motivează păstrarea literei romane, f , pentru fază, în locul literei grecești consacrate, φ , pe tot parcursul lucrării.

Din motive financiare și tehnice de realizare a modulatorilor de fază a luminii (PSLM), în literatura de specialitate [80-87] pentru ca studiile să poată fi comparate în mod standard, s-au luat în considerare modulatori (PSLM) cu domeniul de fază având adâncimea $df = f_2 - f_1 = \pi - 0 = \pi$. Astfel din punct de vedere fizic și practic (optic), transformarea de fază a unei imagini de amplitudine $a(x,y)$, se realizează cu relația (4.1). Rezultatul acestei transformări, $Tf[a(x,y)]$, se proiectează optic direct cu un modulator de fază (PSLM) în planul de intrare al montajului unui corelator optic cu transformată comună în domeniul amplitudinii (COTC), care astfel va deveni un corelator optic cu transformată comună în domeniul fazei (FCOTC).

Studiul teoretic, matematic, al corelației în domeniul fazei presupune următorul formalism matematic (și numai strict matematic) [80,83,84,91,92,94,95]

$$\begin{aligned} a(x,y) &\xrightarrow[\text{de FAZĂ}]{\text{TRANSFORMAREA}} \equiv \exp\{i \cdot Tf[a(x,y)]\} \\ &= \exp\left\{i \cdot \left[f_1 + df \cdot \left[\frac{a(x,y) - \min a}{\max a - \min a} \right] \right]\right\} \\ &\equiv \exp\{i \cdot [\alpha \cdot a(x,y)]\}. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Cu alte cuvinte, transformarea de fază în formalismul matematic, teoretic, va avea forma

$$Tf[a(x, y)] = \exp[i \cdot \alpha \cdot a(x, y)], \quad (4.3)$$

(unde α este o constantă de proporționalitate) și care va fi utilizată atât la descrierea teoretică a modelelor de corelatoare cu transformată comună în domeniul fazei, cât și la simularea pe calculator a acestor modele, în vederea interpretării rezultatelor experimentale similare și comparării acestora.

4.3 Corelatorul optic în domeniul fazei cu transformată comună modelul clasic (FCOTC-CL)

Imaginea comună în domeniul amplitudinii va conține imaginea de referință $ref(x, y)$ și imaginea scenei $scn(x, y)$ poziționate în cele două jumătăți verticale. Urmare acestui fapt imaginea comună se poate considera ca o sumă directă

$$com(x, y) = ref(x, y + y_0) \oplus scn(x, y - y_0) \quad (4.4)$$

adică cele două imagini sunt pseudoindpendente.

Imaginea de intrare comună în domeniul fazei va fi astfel:

$$Tfcom(x, y) = \exp\left\{i \cdot \left[\left(\frac{com(x, y) - \min com}{\max com - \min com} \right) \cdot df + f_1 \right] \right\}. \quad (4.5)$$

și se va proiecta optic în planul de intrare cu un *PSLM*.

Această imagine va fi transformată Fourier de către lentile L_1 (figura 4.4) obținând în planul frecvențelor spațiale:

$$\begin{aligned} TfCOM(u, v) &= \mathcal{F}\{Tfcom(x, y)\} = \\ &= \mathcal{F}\left\{ \exp\left\{i \cdot \left[\left(\frac{com(x, y) - \min com}{\max com - \min com} \right) \cdot df + f_1 \right] \right\} \right\}. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Transformata Fourier (4.6) va fi videocaptată cu ajutorul unei camere CCD sub forma spectrului de putere al imaginii comune:

$$SPC(u, v) = TjCOM(u, v) \cdot TjCOM^*(u, v) \quad (4.7)$$

și este o imagine în domeniul amplitudinii.

Transformarea Fourier inversă realizată optic de lentila L_2 asupra spectrului de putere a imaginii comune $SPC(u, v)$ va avea ca rezultat în planul de ieșire a corelatorului:

$$\begin{aligned} RCor(x, y) &= \mathcal{F}^{-1}\{SPC(u, v)\} = \\ &= \mathcal{F}^{-1}\{TjCOM(u, v) \cdot TjCOM^*(u, v)\} = \\ &= Tjcom(x, y) \otimes Tjcom(x, y) \end{aligned} \quad (4.8)$$

unde simbolul \otimes reprezintă operația de corelație.

Interpretarea rezultatelor procesului de recunoaștere de forme cu corelatoarele cu transformată Fourier comună în domeniul fazei, indiferent de modelul ales, presupune o analiză mai amănunțită. Această analiză consideră transformarea imaginilor de referință $ref(x, y)$, a scenei $scn(x, y)$ și comună $com(x, y)$ din domeniul amplitudinii în cel al fazei sub forma:

$$\begin{aligned} Tjref(x, y) &\equiv \exp\left\{i \cdot \left[\left(\frac{ref(x, y) - \min ref}{\max ref - \min ref} \right) \cdot df + f_1 \right] \right\} \\ &= \exp\{i \cdot ref(x, y) \cdot Df\} \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} Tjscn(x, y) &\equiv \exp\left\{i \cdot \left[\left(\frac{scn(x, y) - \min scn}{\max scn - \min scn} \right) \cdot df + f_1 \right] \right\} \\ &= \exp\{i \cdot scn(x, y) \cdot Df\} \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned} Tjcom(x, y) &\equiv \exp\left\{i \cdot \left[\left(\frac{com(x, y) - \min com}{\max com - \min com} \right) \cdot df + f_1 \right] \right\} \\ &= \exp\{i \cdot com(x, y) \cdot Df\} \end{aligned} \quad (4.11)$$

unde

- $df = (f_2 - f_1)$ - reprezintă adâncimea domeniului de fază al modulatorului spațial de lumină în domeniul fazei;
- f_2, f_1 - reprezintă cele două valori extreme, maximă și minimă, ale domeniului de fază df a PSLM;

- Df - reprezintă domeniul de fază prin care se realizează practic transformarea din domeniul amplitudinii în cel al fazei $Df = \frac{df}{(\max[\cdot] - \min[\cdot])} = \frac{df}{dA_m}$ cu $dA_m = (\max[\cdot] - \min[\cdot])$ domeniul de

reprezentare în amplitudine a imaginilor cu ajutorul unui modulator spațial de lumină (SLM).

În mod uzual avem $df = (1 \cdot \pi - 0)$ (comercial) sau $df = (2 \cdot \pi - 0)$ (cercetare) pentru modulatorile spațiale de lumină în domeniul fazei (PSLM), iar $dA_m = (255 - 0)$ pentru modelatoarele spațiale de lumină în domeniul amplitudinii – SLM. Descrierea de mai sus a transformatei de fază a imaginilor de amplitudine este echivalentă practic cu o scalare a acestora cu factorul de scară Df .

În cazul corelatorului optic cu transformată Fourier comună în domeniul fazei, modelul clasic (FCOTC-CL), interesează imaginea comună în domeniul fazei și complex conjugata acesteia:

$$Tfcom(x, y) = \exp\{i \cdot com(x, y) \cdot Df\} \quad (4.12)$$

$$Tfcom^*(x, y) = [\exp\{i \cdot com(x, y) \cdot Df\}]^* \quad (4.13)$$

Dezvoltarea în serie a funcției exponențiale din cele două relații (4.12) și (4.13) va genera prin scriere directă:

$$\begin{aligned} Tfcom(x, y) &\equiv \exp\{i \cdot Df \cdot com(x, y)\} = \\ &= \sum_{k=0}^n \left\{ \left[\frac{(i \cdot Df)^k}{k!} \right] \cdot [com(x, y)]^k \right\} \\ &= \sum_{k=0}^n C_k \cdot [com(x, y)]^k \end{aligned} \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} Tfcom^*(x, y) &\equiv [\exp\{i \cdot Df \cdot com(x, y)\}]^* = \\ &= \sum_{p=0}^n \left[\frac{(-i \cdot Df)^p}{p!} \right] \cdot [com(x, y)]^p, \\ &= \sum_{p=0}^n C_p^* \cdot [com(x, y)]^p \end{aligned} \quad (4.15)$$

$$\text{în care } C_k = \left[\frac{(i \cdot Df)^k}{k!} \right], \text{ iar } C_p^* = \left[\frac{(-i \cdot Df)^p}{p!} \right].$$

Relația (4.14) se mai poate scrie și sub formele echivalente:

$$\begin{aligned} Tfcom(x, y) &= \exp\{i \cdot Df \cdot [ref(x, y + y_0) + scn(x, y - y_0)]\} = \\ &= \sum_{k=0}^n C_k \cdot [(ref(x, y + y_0) + scn(x, y - y_0))^k] \end{aligned} \quad (4.16)$$

prin înlocuirea relației (4.4) în relația (4.14), sau:

$$\begin{aligned}
 Tfcom(x, y) &\equiv \exp\{i \cdot Df \cdot [ref(x, y + y_0) + scn(x, y - y_0)]\} = \\
 &= \exp\{i \cdot Df \cdot ref(x, y + y_0)\} \cdot \exp\{i \cdot Df \cdot scn(x, y - y_0)\} = \\
 &= \left\{ \sum_{k=0}^n C_k \cdot [ref(x, y + y_0)]^k \right\} \cdot \left\{ \sum_{p=0}^n C_p^* \cdot [scn(x, y - y_0)]^{p^*} \right\}.
 \end{aligned} \tag{4.17}$$

În relația (4.4) imaginea de referință, $ref(x, y + y_0)$, și a scenei, $scn(x, y - y_0)$, sunt separate spațial între ele cu distanța $(2 \cdot y_0)$ și ca urmare s-a scris imaginea comună sub forma sumei directe. Această scriere a sugerat autorului rescrierea relației (4.14) sub forma:

$$\begin{aligned}
 Tfcom(x, y) &\equiv \exp\{i \cdot Df \cdot [ref(x, y + y_0) \oplus scn(x, y - y_0)]\} = \\
 &\equiv \sum_{k=0}^n C_k \cdot [(ref(x, y + y_0) \oplus scn(x, y - y_0))^k] = \\
 &= \sum_{k=0}^n C_k \cdot [(ref(x, y + y_0)^k \oplus scn(x, y - y_0))^k].
 \end{aligned} \tag{4.18}$$

Această rescriere originală a transformării de fază (4.14) realizează o interpretare mai facilă a rezultatelor de corelație cu toate modelele de corelatoare în domeniul fazei descrise în această lucrare. Interpretarea va genera o înțelegere mai bună a fenomenelor din cadrul recunoașterii de forme și o utilizare mai comodă a acestor corelatoare în domeniul fazei. Echivalența acestor forme (4.12), (4.14), (4.16), (4.17) și (4.18) a fost testată și prin simulare pe calculator.

Rescrierea relației (4.14) de transformare de fază a imaginii comune $Tfcom(x, y)$ în varianta (4.18) va duce la scrierea transformatei Fourier (4.6) a imaginii comune în domeniul fazei, astfel:

$$\begin{aligned}
 TfCOM(u, v) &\equiv \mathcal{F}\{Tfcom(x, y)\} = \\
 &= F \left\{ \sum_{k=0}^n C_k \cdot [(ref(x, y + y_0))^k + (scn(x, y - y_0))^k] \right\} = \\
 &= \sum_{k=0}^n C_k \cdot [\mathcal{F}\{(ref(x, y + y_0))^k\} + \mathcal{F}\{(scn(x, y - y_0))^k\}] = \\
 &= \sum_{k=0}^n C_k \cdot [(REF(u, v))^k + (SCN(u, v))^k] \\
 &\equiv TfREF(u, v) \cdot \exp(-2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0) + \\
 &\quad + TfSCN(u, v) \cdot \exp(+2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0).
 \end{aligned} \tag{4.19}$$

Complex conjugata relației (4.19) este:

$$\begin{aligned}
 TjCOM^*(u, v) &= \sum_{p=0}^n C_p^* \cdot \left[\mathcal{F} \left\{ \left(ref(x, y + y_0) \right)^p \right\}^* + \mathcal{F} \left\{ \left(scn(x, y - y_0) \right)^p \right\}^* \right] = \\
 &= \sum_{p=0}^n C_p^* \cdot \left[(REF(u, v))^p + (SCN(u, v))^p \right] \\
 &\equiv TjREF^*(u, v) \cdot \exp(-2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0) + \\
 &\quad + TjSCN^*(u, v) \cdot \exp(+2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0)
 \end{aligned} \tag{4.20}$$

Spectrul de putere al imaginii comune, dat de relația (4.6) se va rescrie ținând cont de (4.19) și (4.20) sub două forme echivalente

$$\begin{aligned}
 SPC(u, v) &= TjCOM(u, v) \cdot TjCOM^*(u, v) = \\
 &= \sum_{k=0}^n C_k \cdot [REF_k(u, v) + SCN_k(u, v)] \cdot \sum_{p=0}^n C_p^* \cdot [SCN_p^*(u, v) + REF_p^*(u, v)] \\
 &= \left[1 + \sum_{k=1}^n C_k \cdot (REF_k(u, v) + SCN_k(u, v)) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[1 + \sum_{p=1}^n C_p^* \cdot (REF_p^*(u, v) + SCN_p^*(u, v)) \right] \\
 &= \left\{ 1 + \sum_{k=0}^n |C_k|^2 \cdot (|REF_k|^2 + |SCN_k|^2) + \sum_{k=1}^n \sum_{p=1, k \neq p}^n (C_k \cdot C_p^*) \cdot (REF_k \cdot REF_p^* + SCN_k \cdot SCN_p^*) \right\} \\
 &\quad + \left\{ \sum_{k=1}^n \sum_{p=1, k \neq p}^n (C_k \cdot C_p^*) \cdot (REF_k \cdot SCN_p^* + REF_p^* \cdot SCN_k) \right\}
 \end{aligned} \tag{4.21}$$

și

$$\begin{aligned}
 SPC(u, v) &\equiv TjCOM(u, v) \cdot TjCOM^*(u, v) = \\
 &= [TjREF(u, v) \cdot \exp(-2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0) + TjSCN(u, v) \cdot \exp(+2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0)] \cdot \\
 &\quad \cdot [TjREF^*(u, v) \cdot \exp(+2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0) + TjSCN^*(u, v) \cdot \exp(-2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0)] \\
 &= (TjREF(u, v) \cdot TjREF^*(u, v)) + (TjSCN(u, v) \cdot TjSCN^*(u, v)) + \\
 &\quad + TjREF(u, v) \cdot TjSCN^*(u, v) \cdot \exp(-2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0) + \\
 &\quad + TjSCN(u, v) \cdot TjREF^*(u, v) \cdot \exp(+2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0)
 \end{aligned} \tag{4.22}$$

În planul de ieșire al corelatorului se va obține transformata Fourier a spectrului de putere a imaginii comune (4.22):

$$\begin{aligned}
RCor(x, y) &= \mathcal{F}^{-1} \{SPC(u, v)\} = \\
&= T_{fref}(x, y) \otimes T_{fref}(x, y) + T_{fscn}(x, y) \otimes T_{fscn}(x, y) + \\
&+ T_{fREF}(x, y) \otimes T_{fSCN}(x, y + 2 \cdot y_0) + \\
&+ T_{fscn}(x, y - 2 \cdot y_0) \otimes T_{fref}(x, y) \\
&\equiv T_0 + T_1 + T_2
\end{aligned} \tag{4.23 a}$$

Prin videocaptarea cu o cameră CCD a acestei distribuții a câmpului luminos, se va obține distribuția intensității luminoase în planul de ieșire al corelatorului. Ca urmare relația (4.23 a) conține rezultatul corelației și a recunoașterii de forme descris anterior.

Termenii T_0, T_1, T_2 din relația (4.23 a) au aceeași semnificație ca și în cazul corelatorului optic cu transformată comună modelul clasic (COTC - CL) în domeniul amplitudinii, relația (3.5).

Termenul T_0 , termenul de difracție de ordinul zero, este termenul de autocorelație al imaginii de referință și respectiv al imaginii scenei. Acest termen neutru este localizat în centrul imaginii ce constituie rezultatul corelației. Intensitatea acestui termen este foarte mare, putând depăși cu ordine de mărime intensitatea termenilor utili ai corelației T_1 și T_2 , dispuși simetric față de T_0 .

Modelele modificate ale corelatoarelor cu transformată comună în domeniul amplitudinii sau al fazei, urmăresc tocmai eliminarea cât mai precisă a termenului neutru T_0 .

Diferența dintre forma matematică de definire a termenilor de corelație T_0, T_1, T_2 , generați de corelatorul optic cu transformată comună modelul clasic în domeniul amplitudinii (COTC-CL) și cel în domeniul fazei (FCOTC-CL), este că în cazul ultimului corelator acești termeni sunt o combinație de produse de corelație cu termeni neliniari ai imaginii de referință și a imaginii scenei:

$$(ref(x, y + y_0))^k \otimes (scn(x, y - y_0))^p, \quad k, p = \overline{0, n}. \tag{4.23 b}$$

Calculul matematic ce descrie modelul de corelator optic în domeniul fazei cu transformată comună modelul clasic (FCOTC-CL) are ca algoritm general pe cel de la corelatorul optic în domeniul amplitudinii cu transformată comună modelul clasic (COTC-CL), dar descrierea și considerentele matematice sunt propuse și dezvoltate de către autor sub forma prezentată de relațiile (4.4 - 4.23).

Simularea pe calculator a procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul optic cu transformată comună modelul clasic în domeniul fazei (FCOTC-CL), are ca imagine comună în domeniul amplitudinii imaginea identică care s-a utilizat la studierea corelatoarelor în domeniul amplitudinii (figura 3.4). În figura 4.2 b este reprezentată imaginea comună după transformarea de fază a imaginii comune în amplitudine (figura 4.2 a). Și în acest caz imaginea comună în domeniul fazei nu

se vede cu ochiul liber. Pentru a putea ilustra totuși transformarea de fază autorul a redat în 256 niveluri de gri valorile imaginii de fază.

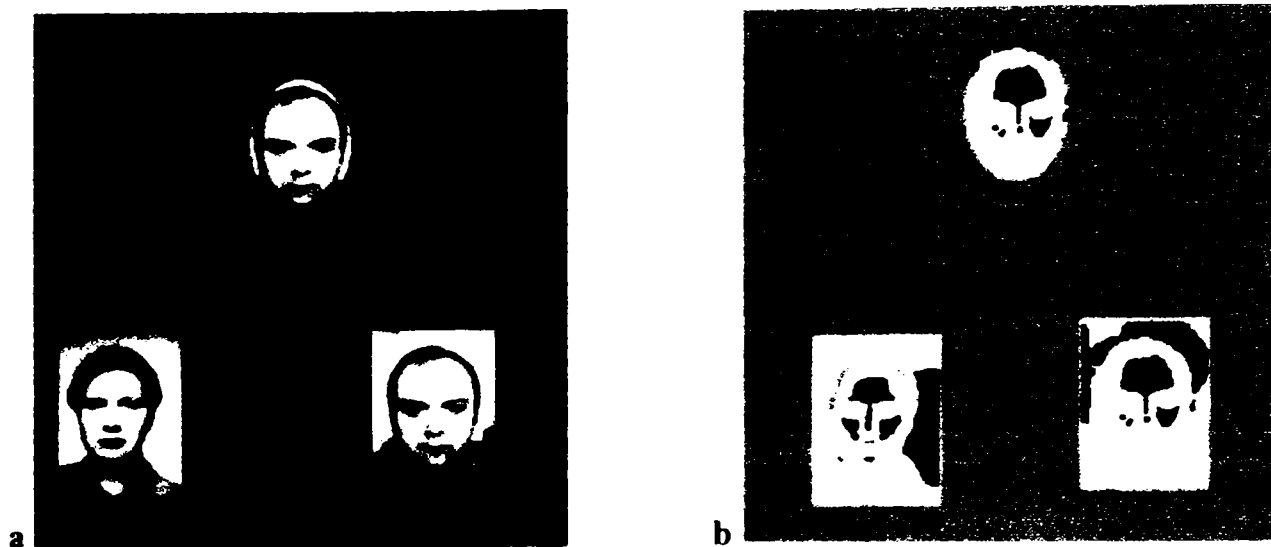


Fig. 4.2 Imaginile comune de intrare pentru procesul de recunoaștere de forme cu corelatorul optic cu transformată comună modelul clasic în domeniul fazei (FCOTC-CL).

- a) în domeniul amplitudinii
- b) în domeniul fazei (identifică imaginea de intrare pentru corelatorul (FCOTC-CL)), transformată cu adâncimea de fază $d_{PSLM} = [0; 1.4\pi]$

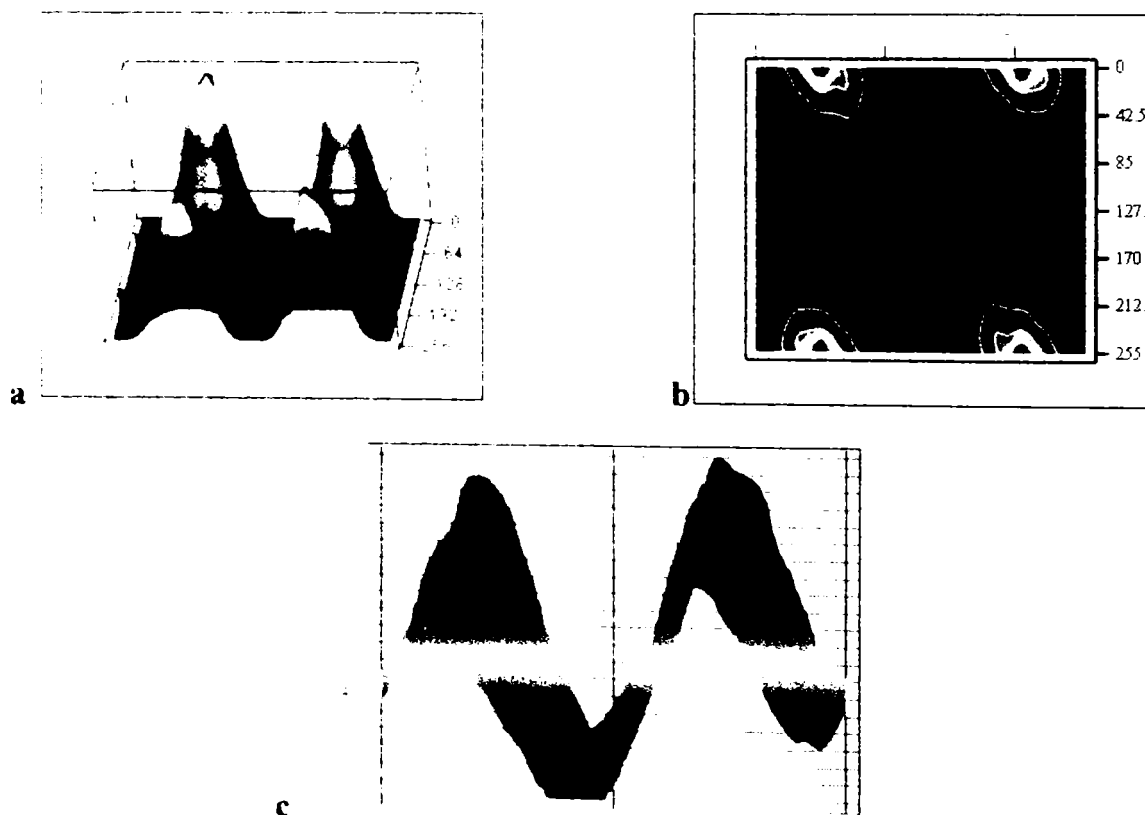


Fig. 4.3 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorului optic în domeniul fazei cu transformată comună clasic (FCOTC-CL), pentru imaginea de intrare din Fig. 4.1. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy.

- a. varianta 3D cu maximul central de ordinul zero blocat – se pot observa cele două linii de corelație
- b. varianta 2D plană a rezultatului corelației – imagine ce poate fi captată cu o cameră CCD și analizată din punct de vedere al performanțelor la recunoașterea de forme:
- c. varianta 2D longitudinală a unei linii de corelație (din jumătatea inferioară a variantei b) – se pot compara intensitățile maximelor de autocorelație (IMA) și corelație (IMC).

Din figura 4.3 c se pot măsura automat cele două intensități ale maximelor de corelație date de:

- corelația imaginii de referință cu cea identică cu ea (imaginea martor) prezentă în imaginea scenei sau pe scurt intensitatea maximului de autocorelație (*IMA*)
- corelația imaginii de referință cu partea de imagine a scenei care nu conține imaginea martor sau pe scurt intensitatea maximului de corelație (*IMC*).

Datele numerice ale acestor măsurători sunt date în tabelul următor:

Tabelul 4.1 Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul optic în domeniul fazei cu transformată comună clasic (FCOTC-CL), pentru imaginea de intrare din figura 4.2.

	IMA	IMC	CED
FCOTC – CL	48,784	45,801	1,065

Aceste rezultate ale recunoașterii de forme cu (FCOTC-CL) au fost realizate cu o imagine martor (identică cu cea de referință) înconjurată de zgomot ambiental. Acest zgomot ambiental a dus la eșuarea procesului de detecție (recunoaștere) a referinței în imaginea scenei, atât pentru corelatorul optic cu transformată comună modelul clasic în domeniul fazei (FCOTC-CL) – tabelul 4.1. – cât și pentru corelatorul optic cu transformată comună modelul clasic în domeniul amplitudinii (COTC-CL) – tabelul 3.1.

Un alt dezavantaj al corelatorului (FCOTC-CL) comparativ cu corelatorul (COTC-CL) este că maximele de corelație sunt mai extinse spațial. Acest lucru atrage atenția asupra faptului că pentru a obține maxime de corelație mai înguste spațial (pentru o mai bună localizare spațială a obiectelor din imaginea scenei) ar trebui să avem o mai bună separare spațială în imaginea comună de intrare. Cu alte cuvinte corelatoarele cu transformată comună în domeniul fazei ar putea fi mai sensibile atât la zgomot ambiental cât și la separarea spațială dintre imaginea de referință și imaginea scenei în imaginea comună de intrare.

Cu toate aceste dezavantaje, cantitativ și implicit calitativ, $CED = 1,065$ pentru corelatorul (FCOTC-CL) este ușor mai mare decât $CED = 1,055$ al corelatorului (COTC-CL).

Acest tip de corelator în domeniul fazei (FCOTC-CL), cât și următorul tip, corelatorul optic cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine în domeniul fazei (FCHTC-FmA) sunt studiate pentru o mai bună înțelegere a modelării teoretice și a comparației practice a următoarelor două modele propuse de autor.

4.4 Corelatorul optic în domeniul fazei cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine (FCOTC-FmA)

Efectele zgomotului ambiental din imaginea scenei se pot elimina prin filtrarea spațială în planul Fourier al frecvențelor spațiale a spectrului de putere comun, $SPC(u, v)$.

Definiția filtrului modulată în amplitudine utilizat pentru corelatorul optic în domeniul fazei (FCOTC-FmA) este identică cu cea din relația (3.6) dată în cazul corelatorului optic omolog în domeniul amplitudinii (COTC-FmA) [27,28,33,38,41,46,47,54,56-58]. Această identitate se extinde și asupra modului lui de acțiune asupra spectrului de putere comun filtrat și în cazul corelatorului (FCOTC-FmA), (figura 4.3):

$$H(u, v) = \begin{cases} \frac{1}{|TfREF(u, v)|} & |TfREF(u, v)| \neq 0 \\ \frac{1}{|TfREF(u, v)| + Z(u, v)} & |TfREF(u, v)| = 0 \end{cases} \quad (4.24)$$

în care $|TfREF(u, v)|$ este modulul transformatei Fourier a transformatei de fază a referinței, $Z(u, v)$ este o funcție nenulă folosită pentru a evita singularitățile datorate împărțirii la zero în cazul în care spectrul comun are această valoare. Funcția $Z(u, v)$ trebuie aleasă cu atenție astfel încât introducerea ei să nu creeze artefacte în procesul de detecție.

Spectrul de putere comun filtrat va avea forma

$$\begin{aligned} SPC_f(u, v) &= H(u, v) \cdot SPC(u, v) = \frac{SPC(u, v)}{|TfREF(u, v)|} = \\ &= \left[\frac{|TfREF(u, v)|^2}{|TfREF(u, v)|} + \frac{|TfSCN(u, v)|^2}{|TfREF(u, v)|} \right] + \\ &+ \frac{TfREF(u, v) \cdot TfSCN^*(u, v)}{|TfREF(u, v)|} \cdot \exp(-2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0) + \\ &+ \frac{TfREF^*(u, v) \cdot TfSCN(u, v)}{|TfREF(u, v)|} \cdot \exp(+2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0) \quad (4.25) \\ &= \left[|TfREF(u, v)| + \frac{|TfSCN(u, v)|^2}{|TfREF(u, v)|} \right] + \\ &+ \exp[i\Phi_{REF}(u, v)] \cdot TfSCN^*(u, v) \cdot \exp(-2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0) + \\ &+ \exp[-i\Phi_{REF}(u, v)] \cdot TfSCN(u, v) \cdot \exp(+2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0), \end{aligned}$$

în care $\Phi_{REF}(u, v)$ reprezintă faza transformatei Fourier a imaginii de referință.

Această ultimă relație este identică în formă ca și relația (3.7) scrisă pentru corelatorul (COTC-FmA) în domeniul amplitudinii. Transformata Fourier, realizată optic de lentila L_2 (vezi figura 4.18 a), a spectrului de putere (4.25) filtrat în amplitudine va genera rezultatul corelației pentru corelatorul (FCOTC-FmA):

$$\begin{aligned}
 R_{Corf}(x, y) &= \frac{1}{|REF|} \cdot [T_{fref}(x, y) \otimes T_{fref}(x, y) + \\
 &\quad + T_{fscn}(x, y) \otimes T_{fscn}(x, y) + \\
 &\quad + \frac{1}{|REF|} \cdot [T_{fref}(x, y) \otimes T_{fscn}(x, y + 2 \cdot y_0)] + \\
 &\quad + \frac{1}{|REF|} \cdot [T_{fref}(x, y) \otimes T_{fscn}(x, y - 2 \cdot y_0)] \\
 &\equiv T_0 + T_1 + T_2.
 \end{aligned} \tag{4.26}$$

Relația (4.26) și (3.8), care reprezintă rezultatul proceselor de corelație pentru corelatorul optic cu transformată comună cu filtru modulat în amplitudine, în domeniul fazei (FCOTC-FmA) și respectiv analogul său în domeniul amplitudinii (COTC-FmA), au aceeași formă. Diferența dintre aceste rezultate este că termenii de corelație în cazul corelatorului (FCOTC-FmA) conțin imaginile de referință și a scenei transformate în fază, $T_{fref}(x, y)$ și respectiv $T_{fscn}(x, y)$.

Rezultatele simulării pe calculator a acestui model de corelator, (FCOTC-FmA) sunt tabelate numeric în tabelul 4.2 și reprezentate grafic în figura 4.4.

Diferența dintre rezultatele corelației date de corelatoarele (FCOTC-FmA) și (COTC-FmA) este cauzată de forma factorilor ce compun termenii de corelație respectivi – lucru menționat anterior (a se vedea relația (4.23 a și b)). Coeficientul de eficiență la detecție $CED = 1,614$, pentru corelatorul (FCOTC-FmA) este mult mai mare decât pentru corelatorul analog (COTC-FmA) în domeniul amplitudinii cu $CED = 1,091$. Maximul de autocorelație generat de (FCOTC-FmA) este mult mai bine localizat comparativ cu cel generat de corelatorul (COTC-FmA). Se poate observa însă, că acest maxim este încă secondat de alte maxime parazite, destul de intense, datorate prezenței zgomotului ambiental în imaginea scenei.

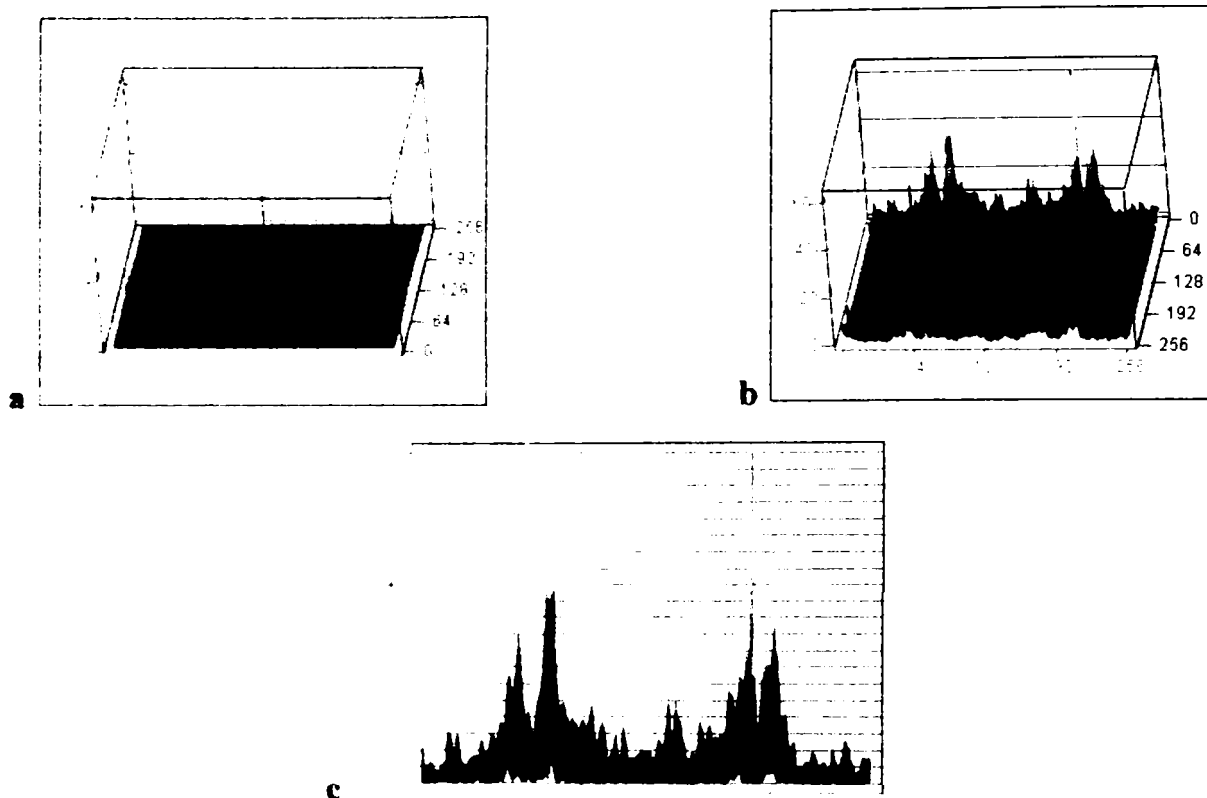


Fig. 4.4 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorului optic în domeniul fazei cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine, (FCOTC-FmA), pentru imaginea de intrare din figura 4.1. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy.

- a. varianta 3D cu maximul central de ordinul zero blocat – se pot observa cele două linii de corelație
- b. varianta 2D plană a rezultatului corelației – imagine ce poate fi captată cu o cameră CCD și analizată din punct de vedere al performanțelor la recunoașterea de forme:
- c. varianta 2D longitudinală a unei linii de corelație (din jumătatea inferioară a variantei b) – se pot compara intensitățile maximelor de autocorelație (*IMA*) și corelație (*IMC*).

Tabelul 4.2 Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul optic în domeniul fazei cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine, (FCOTC-FmA), pentru imaginea de intrare din figura 4.2.

	<i>IMA</i>	<i>IMC</i>	<i>CED</i>
FCOTC-FmA	63.314	39.23	1,614

Rezultatele prezentate anterior au fost obținute după „blocarea” maximului central de ordinul zero din imaginea de ieșire a corelatorului (FCOTC-FmA) (figura 4.4 b), în mod similar corelatorului hibrid în domeniul amplitudinii, (COTC-FmA).

4.5 Corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat și cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-MFmA)

Avantajul unui coeficient de eficiență la detecție, CED, mult mai mare dat de trecerea corelatorului (COTC-FmA) din domeniul amplitudinii în domeniul fazei (FCOTC-FmA) duce la ipoteza că trecerea corelatorului (CHTC-MFmA) din domeniul amplitudinii în domeniul fazei (FCHTC-MFmA) ar trebui să genereze un coeficient CED superior.

Urmând calea transformării corelatoarelor cu transformată comună în domeniul amplitudinii în corelatoare cu transformată comună în domeniul fazei, pentru a obține corelatorul (FCHTC-MFmA) din corelatorul (CHTC-MFmA), primul pas este acel de eliminare automată, pe cale digitală, a maximului central de ordinul zero. Se va obține astfel spectrul de putere modificat $SPCm(u, v)$ [27,28,33,41,46,47,54,56-58]:

$$SPCm(u, v) = SPC(u, v) - [SPR(u, v) + SPS(u, v)] \quad (4.27)$$

în care $SPC(u, v)$ - reprezintă spectrul de putere comun al imaginii comune transformată în fază

$$SPC(u, v) = TjCOM(u, v) \cdot TjCOM^*(u, v) \quad (4.28)$$

$SPR(u, v)$ - reprezintă spectrul de putere al imaginii de referință transformată în fază

$$\begin{aligned} SPR(u, v) &= \mathcal{F}\{Tjref(x, y - y_0)\} \cdot \mathcal{F}\{Tjref(x, y - y_0)\}^* = \\ &= TjREF(u, v) \cdot TjREF^*(u, v) \end{aligned} \quad (4.29)$$

$SPS(u, v)$ - reprezintă spectrul de putere al imaginii scenei transformată în fază

$$\begin{aligned} SPS(u, v) &= \mathcal{F}\{Tjscn(x, y - y_0)\} \cdot \mathcal{F}\{Tjscn(x, y - y_0)\}^* = \\ &= TjSCN(u, v) \cdot TjSCN^*(u, v) \end{aligned} \quad (4.30)$$

Considerând dezvoltările în serie a transformatelor de fază de tipul (4.14) pentru $TjREF(u, v)$ și $TjSCN(u, v)$ și (4.19) pentru $TjCOM(u, v)$, pentru relația (4.27) se va scrie astfel:

$$SPCm(u, v) = \sum_{k=0}^n \sum_{p=0}^n (C_k \cdot C_p^*) \cdot [REF_k(u, v) \cdot SCN_p^*(u, v) + REF_p^*(u, v) \cdot SCN_k(u, v)] \quad (4.31)$$

sau

$$SPCm(u, v) = TfREF(u, v) \cdot SCN^*(u, v) \cdot \exp(-2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0) + \\ + TfREF^*(u, v) \cdot TfSCN(u, v) \cdot \exp(+2\pi i \cdot v_0 \cdot y_0) \quad (4.32)$$

Al doilea pas pentru a obține caracteristicile corelatorului (FCHTC-MFmA) este de a filtra în amplitudine spectrul de putere comun modificat $SPCm(u, v)$ cu filtru modulată în amplitudine de tipul (4. 24). În acest mod se obține spectrul de putere modificat și filtrat în amplitudine:

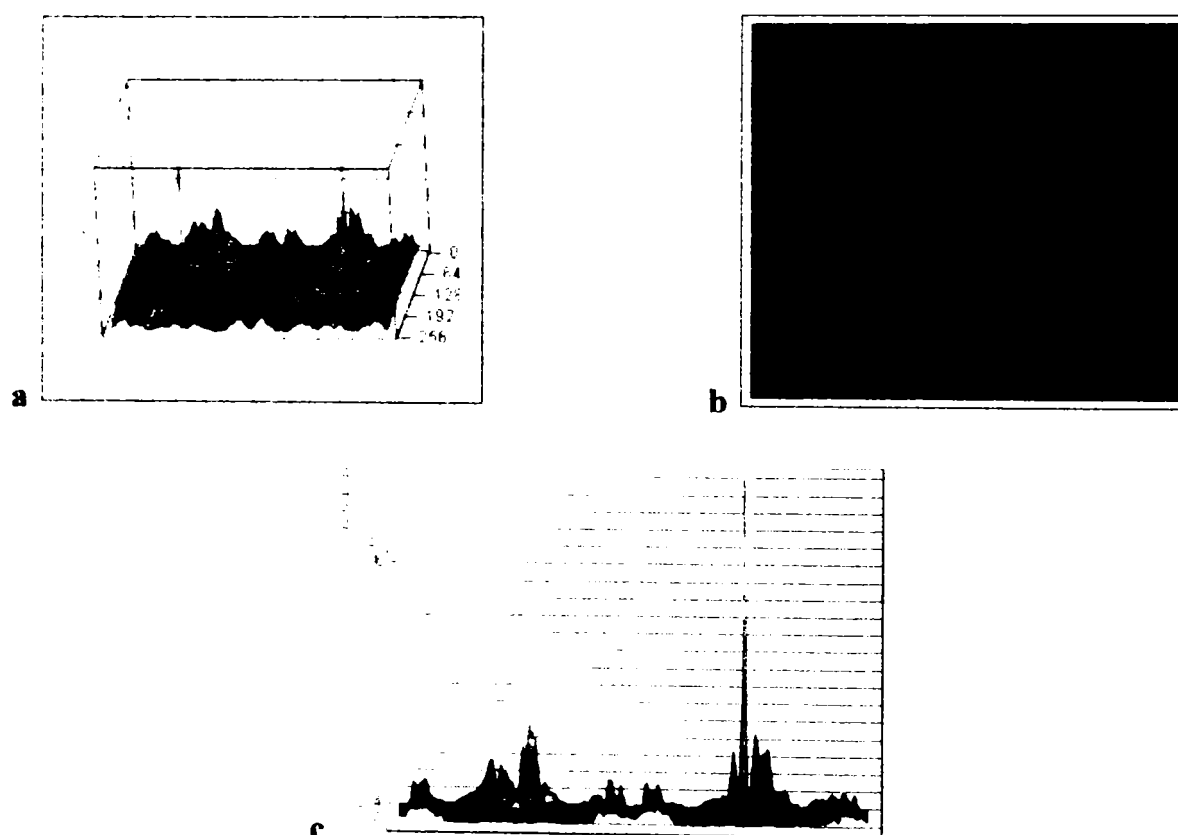


Fig. 4.5 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat și cu filtru modulată în amplitudine, (FCHTC-MFmA), pentru imaginea de intrare din figura 4.1. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy.

- variantea 3D cu maximul central de ordinul zero blocat – se pot observa cele două linii de corelație
- variantea 2D plană a rezultatului corelației – imagine ce poate fi captată cu o cameră CCD și analizată din punct de vedere al performanțelor la recunoașterea de forme:
- variantea 2D longitudinală a unei linii de corelație (din jumătatea inferioară a variantei b) – se pot compara intensitățile maximelor de autocorelație (IMA) și corelație (IMC).

$$\begin{aligned}
 SPCmf(u, v) &= \frac{SPCM(u, v)}{|TfREF(u, v)|} = \\
 &= \frac{TfREF(u, v)}{|TfREF(u, v)|} \cdot TfSCN^*(u, v) \cdot \exp(-2 \cdot \pi \cdot i \cdot v_0 \cdot y_0) + \\
 &+ \frac{TfREF^*(u, v)}{|TfREF(u, v)|} \cdot TfSCN(u, v) \cdot \exp(+2 \cdot \pi \cdot i \cdot v_0 \cdot y_0)
 \end{aligned} \tag{4.33}$$

Primul pas menționat mai sus se realizează digital, cu ajutorul unui program pe calculator, iar al doilea se poate realiza și optic (vezi 3.2.2).

Rezultatul corelației în planul de ieșire al (FCHTC-MFmA) se obține prin transformarea Fourier, pe cale optică cu ajutorul lentilei L_2 (figura 4.18 a), a spectrului de putere comun modificat și filtrat $SPCmf(u, v)$ din relația (4.33):

$$\begin{aligned}
 RCormf(x, y) &\equiv \mathcal{F}^{-1} \cdot \{SPCmf(u, v)\} = \\
 &= \frac{1}{|TfREF|} \cdot Tfref(x, y) \otimes Tfscn(x, y - 2 \cdot y_0) + \\
 &+ \frac{1}{|TfREF|} \cdot Tfref(x, y) \otimes Tfscn(x, y + 2 \cdot y_0) \\
 &\equiv T_1 + T_2.
 \end{aligned} \tag{4.34}$$

Se poate remarca în relația (4.34) absența termenului T_0 ce reprezintă termenul central de ordinul zero al corelației. S-a reușit ca și în cazul corelatorului omolog în amplitudine (CHTC-MFmA) eliminarea automată și nu prin obturare mecanică, a acestui termen.

Pentru a putea compara performanțele corelatorului (FCHTC-MFmA) cu ale celor anterioare se va realiza simularea acestui model cu imaginea de intrare modulată în amplitudine din figura 4.2 a și cea transformată în fază, figura 4.2 b. În planul de ieșire s-au obținut rezultatele numerice prezentate în tabelul 4.3 și reprezentate grafic în figura 4.5.

Tabelul 4.3 Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat și cu filtru modulată în amplitudine, (FCHTC-MFmA), pentru imaginea de intrare din figura 4.2.

	IMA	IMC	CED
FCHTC-MFmA	29,830	8,550	3,487

Coeficientul de eficiență la detecție $CED = 3,487$ pentru acest corelator (FCHTC-MFmA) este cel mai mare, dintre cele de până acum. La acesta se adaugă și un maxim de autocorelație foarte îngust, al imaginii de referință cu imaginea martor identică din imaginea scenei. Acest maxim nu mai este însoțit și de altele secundare aflate în vecinătatea lui, conferind o localizare perfectă a maximumului

de autocorelație. Aceste rezultate ale corelației relevă cea mai mare robustețe la zgomot ambiental a corelatorului hibrid cu transformată comună modificat și filtrat în amplitudine în domeniul fazei (FCHTC-MFmA) și performanțele cele mai bune în detecția și recunoașterea de forme de până acum.

4.6 Corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA)

Din prezentarea modelelor anterioare de corelatoare în domeniul fazei, cu transformată comună, se observă că modelul modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-MFmA) este cel care are performanțele cele mai bune și avantajul de a fi robust la zgomotul ambiental. Acesta este motivul pentru care noul model, corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA) propus de autor, perfecționează modelul deja prezentat (FCHTC-MFmA).

Corelatorul în domeniul fazei (FCHTC-MFmA), ca de fapt toate modelele de corelatoare în domeniul fazei prezentate anterior, realizează o rescalare a imaginii comune în domeniul amplitudinii. Această rescalare reprezintă transformarea în fază a imaginii comune, rezultând imaginea comună de intrare modulată în fază. Procesul de corelație va prelua această imagine în domeniul fazei și va realiza detecția imaginii de referință.

În literatura de specialitate [27-32], referitor la condițiile de realizare a procesării imaginii comune în amplitudine, se menționează că fondul acestei imagini în domeniul fazei este recomandat să fie apropiat de valoarea medie a domeniului de fază (și implicit de amplitudine) ales. Această recomandare nu a fost luată în considerare pentru simulările procesului de recunoaștere de forme în cazul corelatoarelor anterioare, deoarece s-a dorit compararea rezultatelor acestui proces în condițiile cele mai nefavorabile, apropiate cu cele din experimentele în timp real.

Realizarea prin simulare cât și în practică a fondului de intensitate medie (în locul celui de intensitate nulă) presupune determinarea *a priori* a valorilor extreme ale domeniului de intensități sau niveluri de intensitate de gri, după care medierea acestora. Odată obținut nivelul mediu de intensitate se va genera o imagine comună având fondul egal cu acest nivel de intensitate. Peste această imagine se vor suprapune imaginile de referință și a scenei. Imaginea comună rezultată astfel, ține cont de

recomandarea făcută anterior. Timpul de execuție necesar acestor operații, chiar și în cazul unei procesări pe calculator, este destul de mare, iar în aplicații în timp real acest procedeu se exclude de la sine.

Preprocesarea automată, propusă de autor, în vederea implementării recomandării anterioare, se va realiza în următorii pași.

Primul pas este rescalarea imaginii comune în amplitudine, $com(x, y)$, din 256 niveluri de intensitate de gri, într-un domeniu de amplitudine $dfPRE = fpre_1 - fpre_2$, folosind ecuația:

$$Tpre[com(x, y)] = \sin \left[\left(\frac{com(x, y) - \min com}{\max com - \min com} \right) \cdot dfPRE + fpre_1 \right]. \quad (4.35)$$

Domeniul $dfPRE$ se va numi domeniul de premodulare a imaginii comune, $Tpre[\cdot]$ transformarea de premodulare sau simplu premodulare, iar $Tpre[com(x, y)]$ se va numi *imaginea comună premodulată* în amplitudine. Valorile extreme ale domeniului de premodulare pot lua valori $fpre_1, fpre_2 \in [-2\pi; 2\pi]$. În lucrare s-au ales domeniile de premodulare $[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]$, $[0; \pi]$, $[-\pi; \pi]$ și $[0; 2\pi]$, pentru studiul comparativ al performanțelor acestui corelator, (FCHTC-preMFmA), cu ale celorlalte modele mai performante de până acum, și anume (CHTC-MFmA) în domeniul amplitudinii și (FCHTC-MFmA) în domeniul fazei.

Alegerea valorilor extreme ale domeniului de premodulare, $fpre_1$ și $fpre_2$, nu este limitată, utilizatorul acestui model de corelator este liber, astfel, să-și aleagă domeniul de premodulare. Aceste valori, ca de fapt și domeniul de premodulare, realizează prin premodulare o scalare inițială în amplitudine și nu în fază. Doar „scalarea” (transformarea în fază), prin domeniul de fază $dfPSLM$ va realiza trecerea imaginii premodulate (de amplitudine), $Tpre[com(x, y)]$, în domeniul fazei.

$$\begin{aligned} Tf[Tpre[com(x, y)]] &= \exp\{i \cdot Tpre[com(x, y)] \cdot dfPSLM\} \\ &\equiv \exp\left\{i \cdot \left(\frac{Tpre[com(x, y)] - \min pre}{\max pre - \min pre} \right) \cdot dfPSLM + fPSLM_1 \right\} \end{aligned} \quad (4.36)$$

în care

$dfPSLM = fPSLM_2 - fPSLM_1$ - reprezintă domeniul de fază al transformării în fază

$fPSLM_2, fPSLM_1$ - reprezintă extremele domeniului de fază

$\min pre, \max pre$ - reprezintă valoarea minimă, respectiv maximă, a imaginii premodulate $Tpre[com(x, y)]$.

Imaginea $Tf[Tpre[com(x,y)]]$ va fi modulată în fază și reprezintă imaginea comună de intrare de fază ce urmează a fi proiectată optic cu un modulator spațial de lumină în domeniul fazei (PSLM) în planul de intrare al unui corelator hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, modificat și cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-MFmA).

Utilizarea imaginii de fază $Tf[Tpre[com(x,y)]]$ în modelul de corelator în domeniul fazei (FCHTC-MFmA) va genera modelul de corelator hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu imaginea de intrare preprocesată, modificat și cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA), propus de autor.

Trecerea modelului de corelator (CHTC-MFmA) din domeniul amplitudinii în domeniul fazei (FCHTC-MFmA) reprezintă o contribuție originală a autorului, sub forma descrisă în subcapitolul anterior. Modelul de corelator în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) reprezintă un model original.

Modelul nou propus (FCHTC-preMFmA), preia avantajele modelului (FCHTC-MFmA) de a avea o robustețe mare la zgomotul ambiental și de a elimina automat termenul central de ordin zero, ecuațiile matematice (4.3).

Acestor avantaje se mai adaugă și adaptarea automată a recomandării anterioare de a realiza un fond de intensitate medie în imaginea comună de intrare preprocesate $Tf[Tpre[com(x,y)]]$. Pentru demonstrarea acestui fapt se vor prezenta în avans unele rezultate comparative simulate pe calculator. Simulările au avut ca imagini comune de intrare în domeniul amplitudinii imaginile din figurile 4.5, 4.6, 4.7, 4.8. Aceste imagini sunt codificate astfel (vezi și figurile 3.10 și 3.11):

- Imaginea **2N512** (figura 4.6) – identică cu cea din figura 3.11; având în imaginea scenei (localizată în jumătatea inferioară) două fețe umane. Imaginea din stânga este diferită de cea de referință, iar cea din dreapta este identică cu imaginea de referință (numindu-se imaginea martor). Această imagine are un fond negru (de intensitate nulă, adică intensitatea nivelului de gri este zero) și o rezoluție de 512×512 de pixeli,

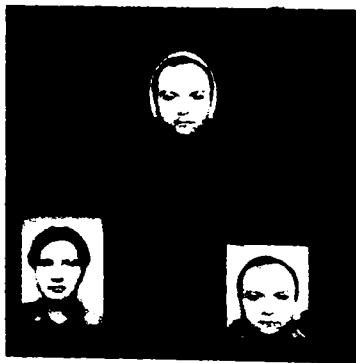


Fig. 4.6 Imagine comună de intrare fără zgomot și cu fond de intensitate nulă

- Imaginea **2N512z** (figura 4.7) – derivă din imaginea 2N512, prin introducerea unui zgomot ambiental lărgit în imaginea scenei (localizată în jumătatea inferioară a imaginii 2N512z),



Fig. 4.7 Imagine comună de intrare cu zgomot ambiental lărgit și cu fond de intensitate nulă

- Imaginea $2N512fmed$ (figura 4.8) – derivă din imaginea $2N512$, prin realizarea unui fond mediu (valoarea intensității de gri este 128) în toată imaginea comună de intrare; prin aceasta s-a realizat implementarea recomandării anterioare,

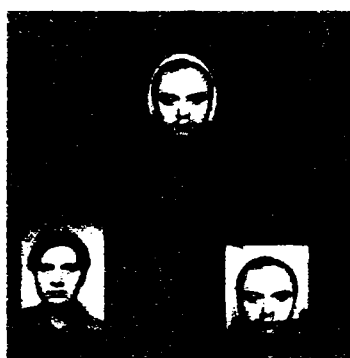


Fig. 4.8 Imagine comună de intrare fără zgomot și cu fond de intensitate medie nenulă

- Imaginea $2N512fmedz$ (figura 4.9) – derivă din imaginea $2N512fmed$, prin introducerea unui zgomot ambiental lărgit identic cu cel din imaginea $2N512z$, prezent în jumătatea inferioară unde este imaginea scenei localizată.

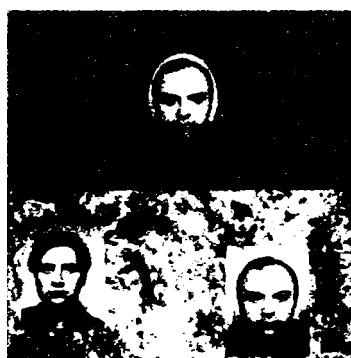
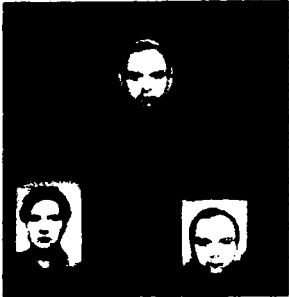

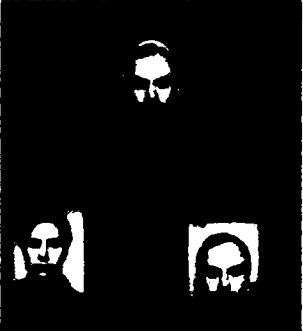
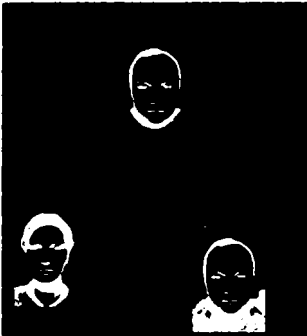




Fig. 4.9 Imagine comună de intrare cu zgomot ambiental lărgit și cu fond de intensitate medie nenulă

În continuare sunt prezentate imaginile comune de intrare în domeniul fazei, pentru corelatoarele din domeniul fazei: (FCHTC-MFmA), în figurile 4.10 – 4.13 și pentru corelatorul (FCHTC-preMFmA) în figurile 4.14 – 4.17, având atașate și domeniul de fază $dfPSLM$ și cele de premodulare $dfpre$:

Cod imagine comună de intrare	FCHTC-MFmA	FCHTC-preMFmA
2N512		
	<p>Fig. 4.10 Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$, fără zgomot și cu fond de intensitate nulă.</p>	<p>Fig. 4.14 Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$ și $dfPRE = [0; 2\pi]$, fără zgomot și cu fond de intensitate nulă.</p>
2N512 $_{med}$		
	<p>Fig. 4.11 Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$, fără zgomot și cu fond de intensitate medie nenulă.</p>	<p>Fig. 4.15 Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$ și $dfPRE = [0; 2\pi]$, fără zgomot și cu fond de intensitate medie nenulă.</p>
2N512 $_z$		
	<p>Fig. 4.12 Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$, cu zgomot ambiental lărgit și cu fond de intensitate nulă.</p>	<p>Fig. 4.16 Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$ și $dfPRE = [0; 2\pi]$, cu zgomot ambiental lărgit și cu fond de intensitate nulă.</p>

2N512fmedz



Fig. 4.13 Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$, cu zgomot ambiental lărgit și cu fond de intensitate medie nenulă.

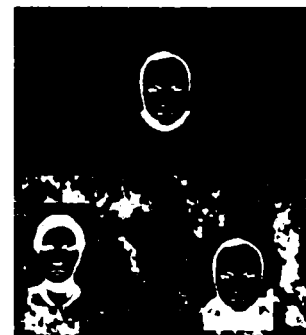


Fig. 4.17 Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$ și $dfPRE = [0; 2\pi]$, cu zgomot ambiental lărgit și cu fond de intensitate medie nenulă.

Rezultatele numerice obținute prin simularea pe calculator sunt prezentate în tabelul 4.4 de mai jos. Autorul menționează că imaginile comune de intrare considerate în această demonstrație, au o distribuție spațială a imaginilor componente diferită față de oricare din imaginile comune similare utilizate. Compararea rezultatelor din tabelul 4.4 cu cele din tabelele 4.5 - 4.9, 6.1, de exemplu, nu este corectă.

Tabelul 4.4 Coeficientul de eficiență la detecție obținut prin simulare pe calculator pentru imaginile comune de intrare din figurile 4.6 – 4.9.

Cod imagine comună de intrare	$dfPSLM$	CED (FCHTC-MFmA)	$dfPRE$	CED (FCHTC-preMFmA)
2N512	$[0; \pi]$	1 9,9402	$[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]$	3 24,0215
			$[0; 2\pi]$	4 103,7280
2N512fmed	$[0; \pi]$	2 39,9327	$[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]$	62,5542
			$[0; 2\pi]$	104,0983
2N512z	$[0; \pi]$	6,7746	$[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]$	16,4152
			$[0; 2\pi]$	73,8782
2N512fmedz	$[0; \pi]$	27,3674	$[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]$	50,5118
			$[0; 2\pi]$	74,9665

Datele numerice rezultate care trebuie comparate și care demonstrează performanțele mai mari ale corelatorului (FCHTC-preMFmA) față de (FCHTC-MFmA) sunt indexate cu 1, 2, 3, 4. Se poate observa că implementarea recomandării de a introduce un fond de intensitate egală cu media intensităților extreme domeniului de definiție al imaginii comune în amplitudine, oferă performanțe ridicate procesului de recunoaștere de forme în cazul ambelor modele de corelatoare în domeniul fazei. Astfel $CED_2 > CED_1$ pentru (FCHTC-MFmA) și $CED_4 > CED_3$ pentru (FCHTC-preMFmA) demonstrează acest lucru.

Valoarea coeficientului $CED_2 = 39,9327$ pentru corelatorul (FCHTC-MFmA) având fond de intensitate medie, introdus în imaginea de intrare: $2N512f$, este mai mare decât coeficientul $CED_3 = 24,0215$ pentru corelatorul (FCHTC-preMFmA) cu $dfPRE = \left[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right]$. S-ar presupune că modelul propus de autor, prin introducerea preprocesării imaginii de intrare nu îmbunătățește performanțele corelatorului (FCHTC-MFmA). Dacă se alege însă un domeniu de premodulare $dfPRE = [0; 2\pi]$ atunci corelatorul propus, (FCHTC-preMFmA) va genera un coeficient $CED_4 = 103,7280$. Această valoare a coeficientului de eficiență la detecție, cu mult mai mare decât CED_2 dat de (FCHTC-MFmA), asigură performanțe mult mai mari corelatorului (FCHTC-preMFmA) decât cele ale corelatorului (FCHTC-MFmA).

Alegerea unui domeniu de premodulare $dfPRE$ este decisivă, după cum s-a putut observa anterior. Chiar și în cazul în care imaginea scenei este afectată de un zgomot ambiental puternic ($2N512z$ și $2N512fmedz$) performanțele corelatorului (FCHTC-preMFmA), cu $CED = 73,8782$ și $dfPRE = [0; 2\pi]$, sunt mult mai mari decât cele ale corelatorului (FCHTC-MFmA), cu $CED = 27,3674$.

Din tabelul 4.4 se mai observă că pentru aceeași imagine de intrare ($2N512$, $2N512z$, $2N512fmed$ și $2N512fmedz$), în parte, coeficienții de eficiență la detecție sunt mult mai mari (uneori sărind un ordin de mărime) pentru corelatorul propus (FCHTC-preMFmA) decât pentru corelatorul (FCHTC-MFmA). Ca urmare corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu imaginea de intrare preprocesată, modificat și cu filtru în amplitudine (FCHTC-preMFmA), propus de autor, are cele mai bune performanțe la detecție, fiind robust la zgomot ambiental și cu o adaptare automată a fondului imaginii de intrare realizată prin preprocesarea descrisă de ecuațiile (4.35), (4.36).

4.7 Metoda practică de realizare a corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată, modificat și cu filtru de amplitudine (FCHTC - preMFmA)

Analog cazului corelatorului în domeniul amplitudinii (CHTC-MFmA), care are gradul de generalitate cel mai mare pentru domeniul amplitudinii, corelatorul în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) are gradul de generalitate cel mai mare pentru corelatoarele în domeniul fazei prezentate anterior. Acest fapt este motivul pentru care se va prezenta metoda practică de realizare și utilizare a acestui model de corelator hibrid în domeniul fazei, (FCHTC-preMFmA), în figura 4.18.

Se realizează sun formă digitală, în amplitudine, cele trei imagini: de referință $ref(x, y)$, a scenei $scn(x, y)$ și comună $com(x, y)$.

Se va preprocesa imaginea comună de amplitudine $com(x, y)$, conform ecuației (4.34), alegând domeniul de premodulare $dfpre$. Rezultatul acestei preprocesări este o imagine în amplitudine care va fi proiectată optic cu un modulator spațial de lumină în domeniul fazei (PSLM). Acest modulator în domeniul fazei (PSLM) va avea domeniul sau adâncimea de fază maximă $dfPSLM$, pe care va fi modulată în fază imaginea preprocesată de amplitudine.

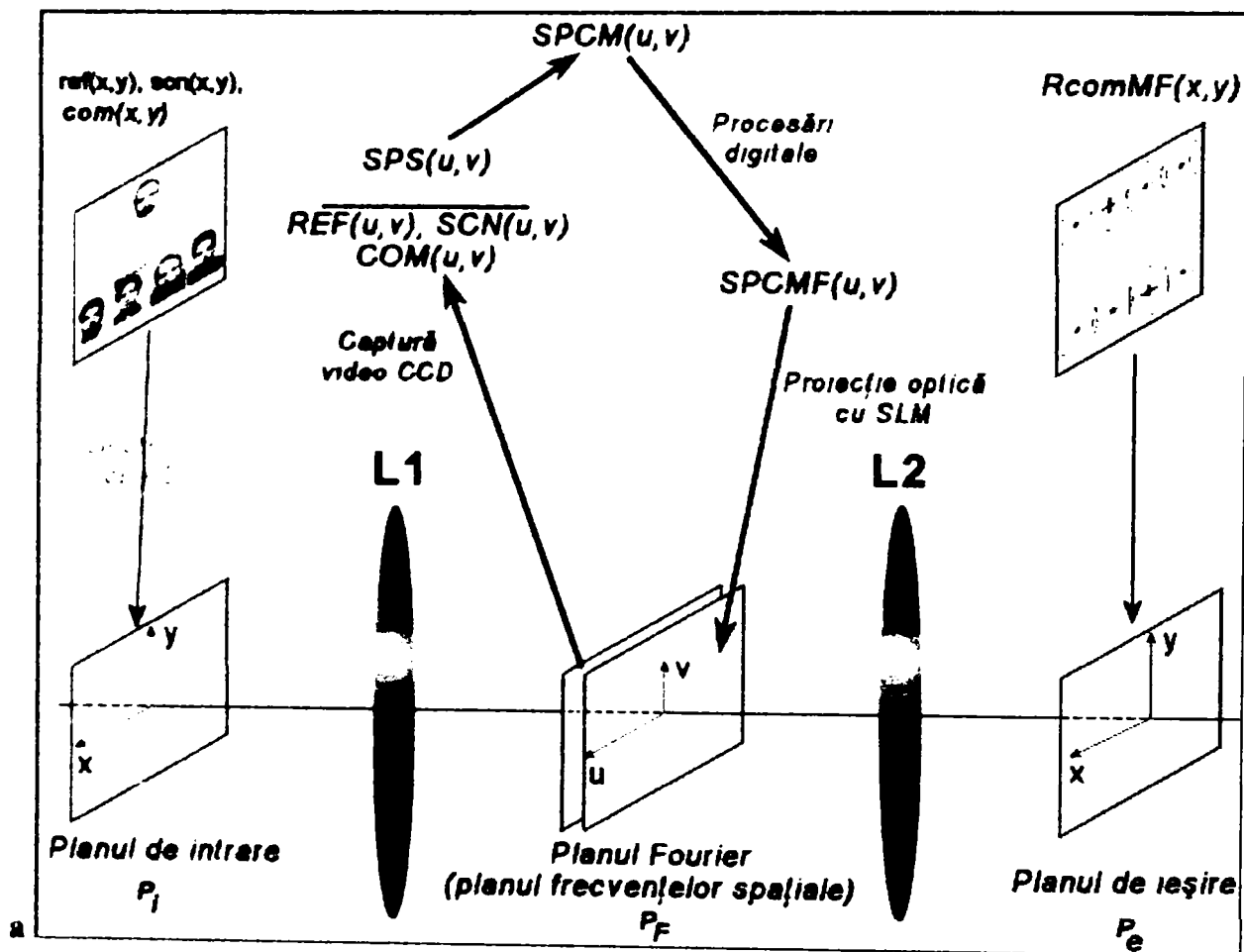
Lentila L_1 va realiza transformata Fourier optică a imaginii comune preprocesate și proiectate optic în fază cu modulatorul (PSLM) în planul de intrare (P_i) al corelatorului.

În planul Fourier (sau planul frecvențelor spațiale) aflat la distanța egală cu dublul distanței focale, $2f_1$, de planul de intrare, se poziționează o cameră CCD pentru a videocaptura spectrul de putere al imaginii comune $SPC(u, v)$. Pentru a realiza videocapturarea spectrelor de putere al imaginii de referință, $SPR(u, v)$, și al scenei, $SPS(u, v)$, se vor utiliza ca imagini inițiale de intrare în amplitudine imaginile de referință $ref(x, y)$ și $scn(x, y)$.

Utilizând calculatorul se va procesa digital spectrul de putere modificat și filtrat ca și în ecuațiile (4.31), (4.32) și (4.33). Acest spectru de putere comun, $SPCmf(u, v)$, reprezintă o imagine modulată în amplitudine și se va proiecta optic în planul Fourier cu ajutorul unui modulator spațial de lumină (SLM) în domeniul amplitudinii.

Lentila L_2 va realiza transformata Fourier a spectrului de putere, $SPCmf(u, v)$ (matematic ea reprezintă transformata Fourier inversă). În planul de ieșire al corelatorului, aflat față de planul

Fourier la distanța egală cu dublul distanței focale, $2f_2$, a lentilei L_2 , se va poziționa o cameră CCD. Rezultatul videocapturii cu camera CCD va reprezenta rezultatul corelației realizate aici în mod hibrid, adică optic și digital.



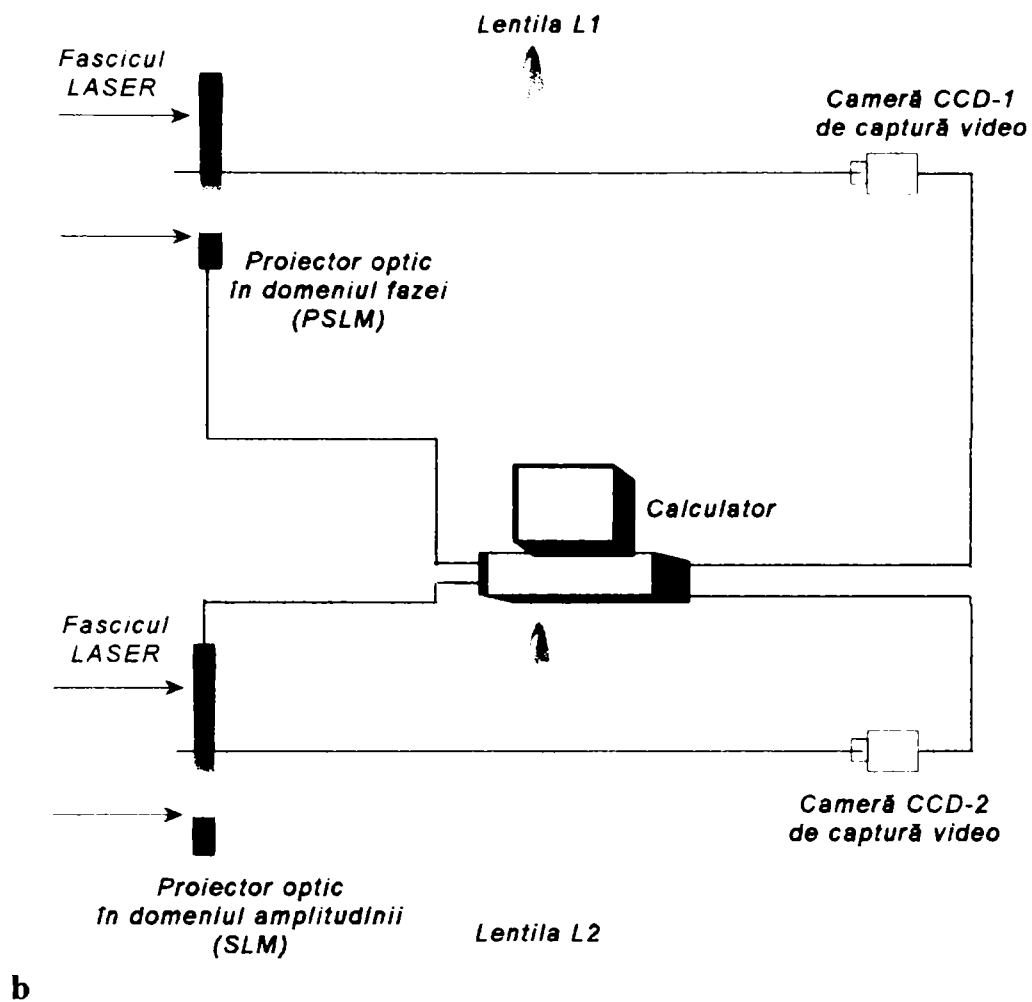


Fig. 4.18 Schema de realizare a corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA): a – de principiu, b – optică.

4.8 Rezultatele simulării numerice a recunoașterii de forme cu corelatoarele cu transformată comună, în domeniul fazei

În subcapitolul 3.5 sunt prezentate sub formă grafică și numerică rezultatele procesului de recunoaștere de forme cu cele trei modele de corelatoare în domeniul amplitudinii prezentate în capitolul respectiv. Acele rezultate au fost obținute prin simularea pe calculator a procesului de recunoaștere de forme având ca imagini de intrare cele prezentate în figura 3.11, cu codurile aferente explicate în paragraful 3.4.

Se amintește doar că s-au ales în imaginea scenei fețe umane, grupate câte două și câte patru, fiind prezentă de fiecare dată și imaginea martor (identică sau asemănătoare cu cea de referință). Aceste imagini reprezentând fețe umane au fost înconjurată de zgomot ambiental. Imaginii martor i-a

fost suprapus un zgomot aditiv uniform cu $\sigma = 0,5$, pentru seturile de imagini comune având două fețe umane în imaginea scenei (2N256z și 2N512z).

Dimensiunile acestor imagini s-au ales de: 256×256 de pixeli și 512×512 de pixeli, pentru o mai bună aprofundare a analizei. Un exemplu de program de simulare a procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA) realizat în mediul de programare MathCAD v2001 este dat în anexa 3. În acest program s-au respectat semnificația și notațiile mărimilor din relațiile (4.4-4.36).

Unul din scopurile lucrării este efectuarea unei analize comparative între corelatoarele în domeniul amplitudinii și cele în domeniul fazei, cât și între cele în domeniul fazei. Acest lucru presupune efectuarea simulării pe calculator a procesului de recunoaștere de forme în aceleași condiții, descrise mai sus, pentru corelatoarele în domeniul fazei.

Reprezentarea grafică a rezultatelor simulărilor pe calculator în cazul corelatoarelor în domeniul fazei sunt prezentate în figurile: 4.19 pentru modelul (FCHTC-CL) cu $dfPSLM = [0; \pi]$, 4.20 pentru modelul (FCOTC-FmA) cu $dfPSLM = [0; \pi]$, 4.21 pentru modelul (FCHTC-MFmA) cu $dfPSLM = [0; \pi]$, 4.22 pentru modelul (FCHTC-preMFmA) cu $dfPRE = [-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]$ și $dfPSLM = [0; \pi]$.

Aspectul cel mai important care se poate desprinde din aceste figuri este evoluția lărgimii maximelor de corelație de la un model de corelator la celălalt. Modelul de corelator optic în domeniul fazei cu transformată comună clasic, (FCOTC-CL), are maxime de autocorelație foarte largi pentru toate imaginile comune de intrare considerate, localizarea imaginii de referință realizându-se astfel foarte greu (figura 4.20). Corelatorul optic în domeniul fazei cu filtru modulat în amplitudine cu transformată comună, (FCOTC-FmA), are maxime de autocorelație înguste pentru aproape toate imaginile comune de intrare considerate, mai puțin pentru imaginile de intrare cu codurile 2N256z, 4N256 și 4N512, localizarea imaginii de referință realizându-se astfel mai ușor decât la modelul precedent. Corelatorul hibrid în domeniul fazei modificat și cu filtru modulat în amplitudine cu transformată comună, (FCHTC-MFmA), are maxime de autocorelație înguste pentru toate imaginile comune de intrare considerate, localizarea imaginii de referință realizându-se foarte ușor. Modelul original propus de autor, și anume corelatorul hibrid în domeniul fazei cu imaginea comună de intrare preprocesată, modificat și cu filtru modulat în amplitudine cu transformată comună, (FCHTC-preMFmA), are maximele de autocorelație cele mai înguste pentru toate imaginile comune de intrare considerate, localizarea imaginii de referință realizându-se cel mai ușor comparativ cu celelalte modele de corelatoare cu transformată comună prezentate în lucrare (figura 4.21).

Valorile coeficienților de eficiență la detecție pentru fiecare model de corelator în parte sunt redați în tabelul 4.5, și comparativ în tabelul 4.6.

Tabelul 4.5

Performanțele corelatoarelor optice sau hibride cu transformată comună exprimate prin valoarea coeficientului de eficiență la detecție, *CED*.

	2N256	2N256z	2N512	2N512z	4N256	4N512	4N512x	<i>dfPSLM</i>	<i>dfPRE</i>
COTC-CL	1,055	1,051	1,082	1,051	1,053	1,052	1,091	-	-
COTC-FmA	1,091	1,875	1,994	1,865	1,113	1,067	1,461	-	-
CHTC-MFmA	2,104	2,108	2,800	2,861	1,647	2,106	2,000	-	-
FCOTC-CL	1,065	1,033	1,036	1,029	1,045	1,038	1,030	[0; π]	-
FCOTC-FmA	1,614	1,404	4,126	2,744	1,203	1,286	2,571	[0; π]	-
FCHTC-MFmA	3,487	2,388	9,940	6,039	4,053	6,097	3,463	[0; π]	-
FCHTC-preMFmA	6,439	4,413	24,022	12,960	5,317	7,681	6,803	[0; π]	$[-\pi/2; \pi/2]$

Tabelul 4.6

Compararea performanțelor maxime ale corelatoarelor optice și hibride în domeniul fazei cu transformată comună exprimate prin valoarea coeficientului de eficiență la detecție, *CED*, generate în aceleași condiții (parametrii de intrare).

	CED	2N256	2N256z	2N512	2N512z	4N256	4N512	4N512x	<i>dfPSLM</i>	<i>dfPRE</i>
FCOTC-CL	1,065	1,033	1,036	1,029	1,045	1,038	1,030	1,030	[0; π]	-
FCHTC-preMFmA	6,439	4,413	24,022	12,960	5,317	7,681	6,803	6,803	[0; π]	$[-\pi/2; \pi/2]$
Raportul <i>CED</i>	6,046	4,272	23,187	12,595	5,088	7,399	6,604	-	-	-
FCOTC-FmA	1,614	1,404	4,126	2,744	1,203	1,286	2,571	2,571	[0; π]	-
FCHTC-preMFmA	6,439	4,413	24,022	12,960	5,317	7,681	6,803	6,803	[0; π]	$[-\pi/2; \pi/2]$
Raportul <i>CED</i>	3,990	3,143	5,823	4,723	4,419	5,972	2,646	2,646	-	-
FCHTC-MFmA	3,487	2,388	9,940	6,039	4,053	6,097	3,463	3,463	[0; π]	-
FCHTC-preMFmA	6,439	4,413	24,022	12,960	5,317	7,681	6,803	6,803	[0; π]	$[-\pi/2; \pi/2]$
Raportul <i>CED</i>	1,847	1,848	2,417	2,146	1,312	1,260	1,964	-	-	-

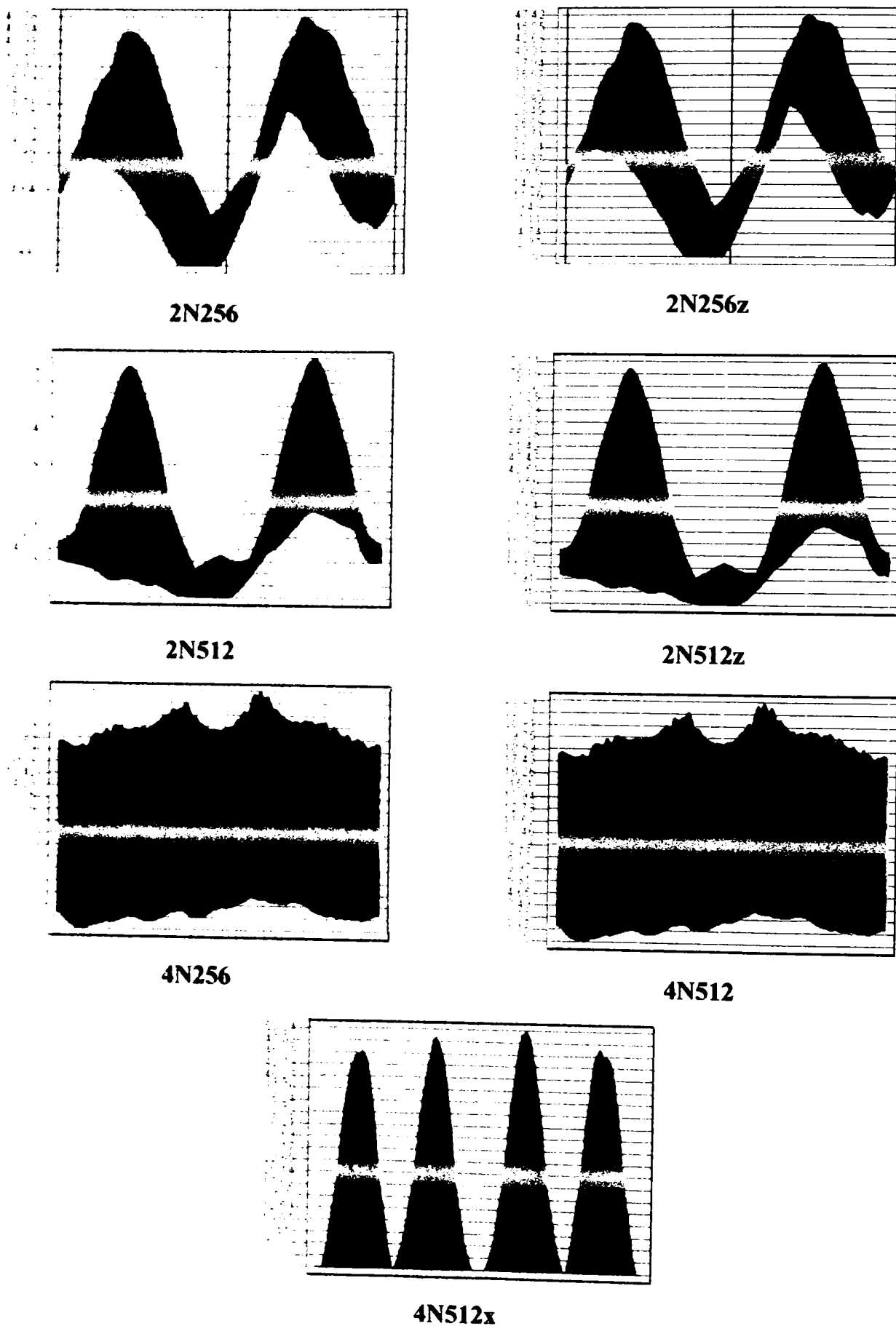


Fig. 4.19 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de ieșire a corelatorului optic în domeniul fazei cu transformată comună clasic (FCOTC-CL), cu $dfPSLM = [0; \pi]$, pentru imaginile comune de intrare din figura 3.11. Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox.

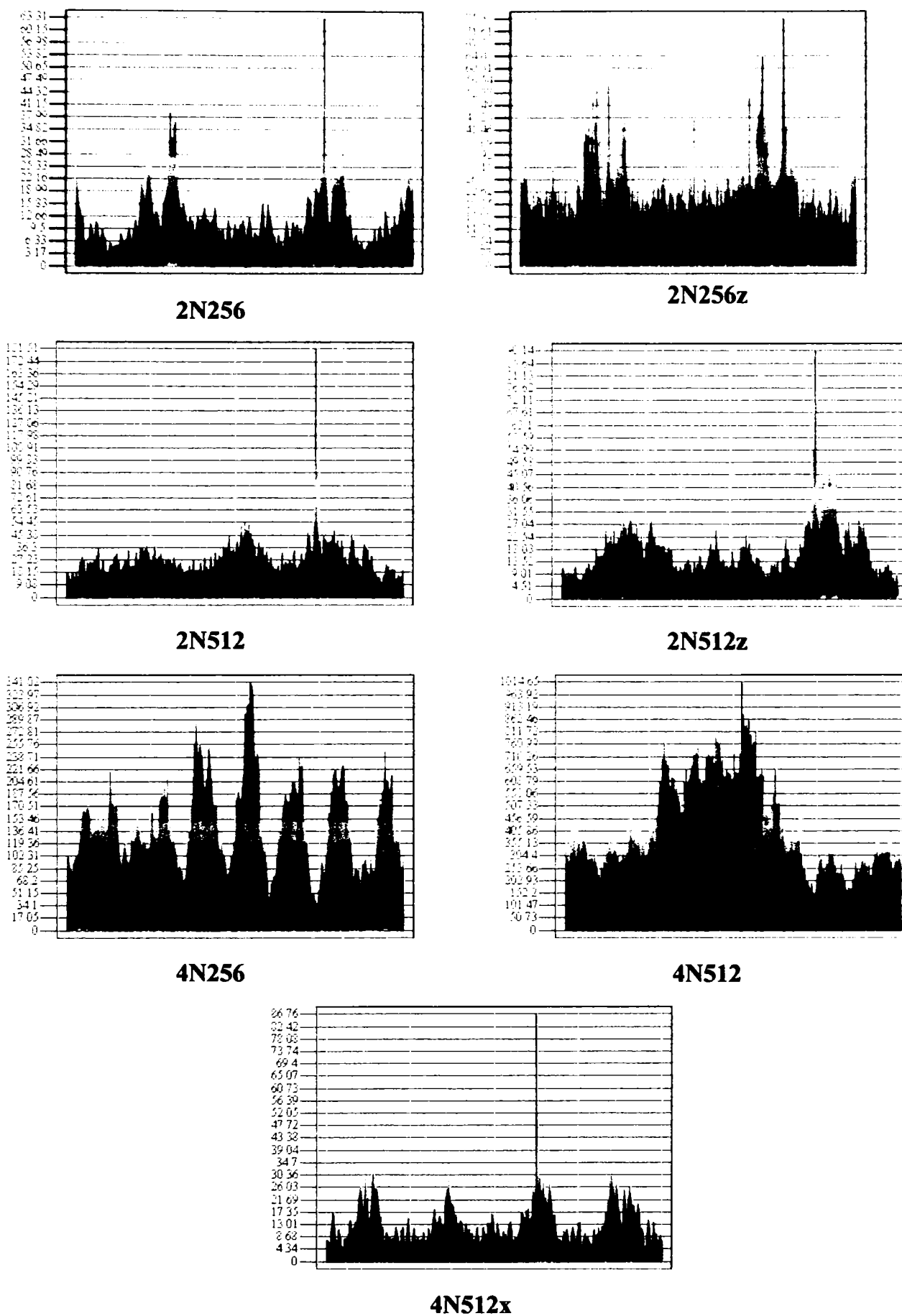


Fig. 4.20 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de ieșire a corelatorului optic în domeniul fazei cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine (FCOTC-FmA), cu $dfPSLM = [0; \pi]$, pentru imaginile comune de intrare din figura 3.11. Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox.

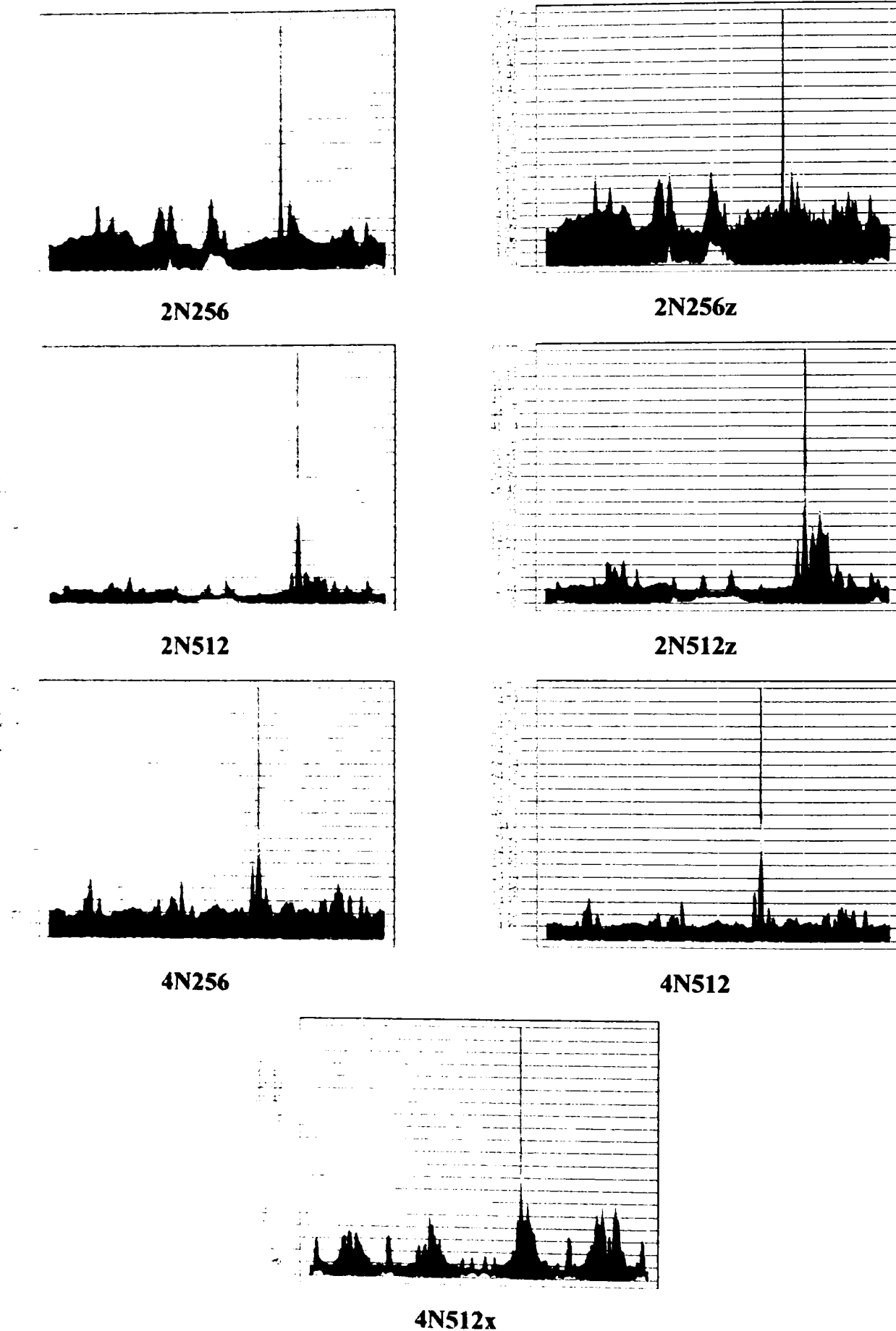


Fig. 4.21 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de ieșire a corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-MFmA), cu $d/PSLM = [0; \pi]$, pentru imaginile comune de intrare din figura 3.11. Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox.

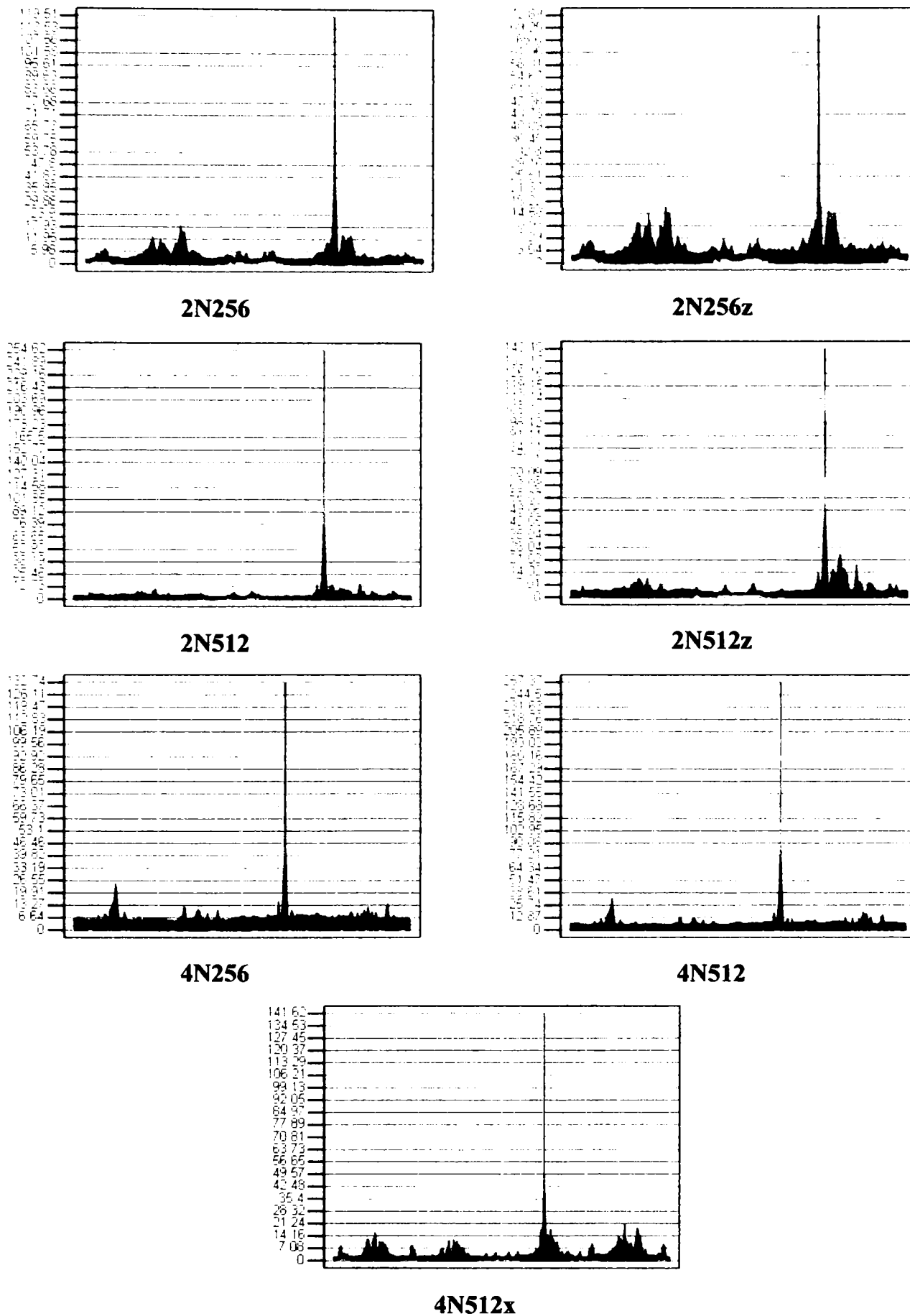


Fig. 4.22 Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de ieșire a corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu imaginea de intrare preprocesată, modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA), cu $dfpre = \left[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right]$ și $dfPSLM = [0; \pi]$, pentru imaginile comune de intrare din figura 3.11. Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox.

4.9 Concluzii

Paragraful anterior prezintă grafic și numeric rezultatele simulărilor pe calculator a procesului de recunoaștere de forme cu ajutorul corelatoarelor cu transformată comună în domeniul fazei. Aceste rezultate permit compararea performanțelor de detecție a formelor între corelatoarele în domeniul fazei, cât și cu cele ale corelatoarelor în domeniul amplitudinii. În acest scop s-au realizat tabelele 4.5 și 4.6, cu coeficienții de eficiență la detecție atât pentru corelatoarele în domeniul amplitudinii cât și pentru corelatoarele în domeniul fazei studiate în lucrare.

Rezultatele numerice ale tabelului cumulativ 4.5 sunt reprezentate grafic în figurile 4.23–4.26, comparativ între corelatoarele în domeniul fazei și în figurile 4.27 și 4.28 comparativ între toate modelele de corelatoare în domeniul amplitudinii și fazei cu transformată comună.

Zgomotul aditiv prezent ca perturbație în imaginea martor (identică cu referința, dar perturbată de zgomot), reduce performanțele la recunoașterea de forme ale corelatoarelor hibride în domeniul fazei cu transformată comună (figura 4.23). Cantitativ această reducere este de până la 32% pentru imaginile comune de tip 2N256 cu definiția mică a imaginilor componente, și de până la 46% pentru imaginile comune de intrare de tip 2N512 cu definiția cea mai bună. Cel mai robust model de corelator la zgomot aditiv este corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA).

Reducerea mare a performanțelor de recunoaștere de forme, în prezența zgomotului aditiv, pentru imaginile cu o definiție mai bună este un fenomen normal. Definiția mai bună a imaginilor de comparat și a imaginii de referință presupune existența unor detalii mai bine definite și mai numeroase. Aceste detalii produc o prezență mai numeroasă a frecvențelor spațiale superioare în transformata Fourier a imaginilor cu definiție mai bună. Perturbarea cu zgomot aditiv a detaliilor mai accentuate din imaginile cu o definiție mai mare, duce la pierderea mai multor frecvențe spațiale superioare decât în cazul imaginilor cu definiție mai mică. Coeficientul de eficiență la detecție, CED , depinde de intensitatea maximelor de corelație, proces care este mai eficient atunci când frecvențele spațiale superioare sunt mai pronunțate și mai numeroase, adică pentru o definiție mai bună a imaginilor inițiale. Valorile mai mici ale coeficientului CED , se vor reduce relativ mai mult pentru imaginile cu o definiție mai mare, dar nu sub cel pentru imaginile cu definiția mai mică.

Definiția mare a imaginilor componente imaginilor comune de intrare îmbunătățesc performanțele de recunoaștere de forme ale corelatoarelor hibride în domeniul fazei cu transformată comună. Cantitativ această creștere este de minimum 152% pentru imaginile comune care conțin două

imagini de comparat în imaginea scenei (figura 4.23), și de minimum **44%** pentru imaginile comune de intrare care conțin patru imagini de comparat în imaginea scenei (figura 4.23). Modelul de corelator cel mai robust la gradul de definiere a imaginilor este corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA).

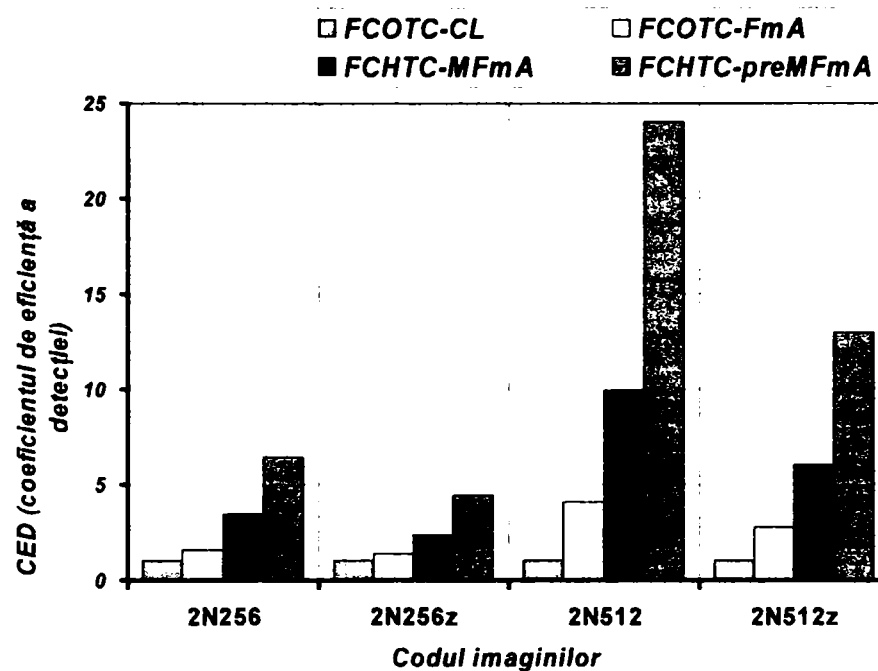


Fig. 4.23 Dependența coeficientului de eficiență la detecție în funcție de spațierea dintre imaginile componente imaginii comune de intrare și de zgomotul aditiv – cazul imaginilor comune de intrare ce conțin două fețe umane în imaginea scenei.

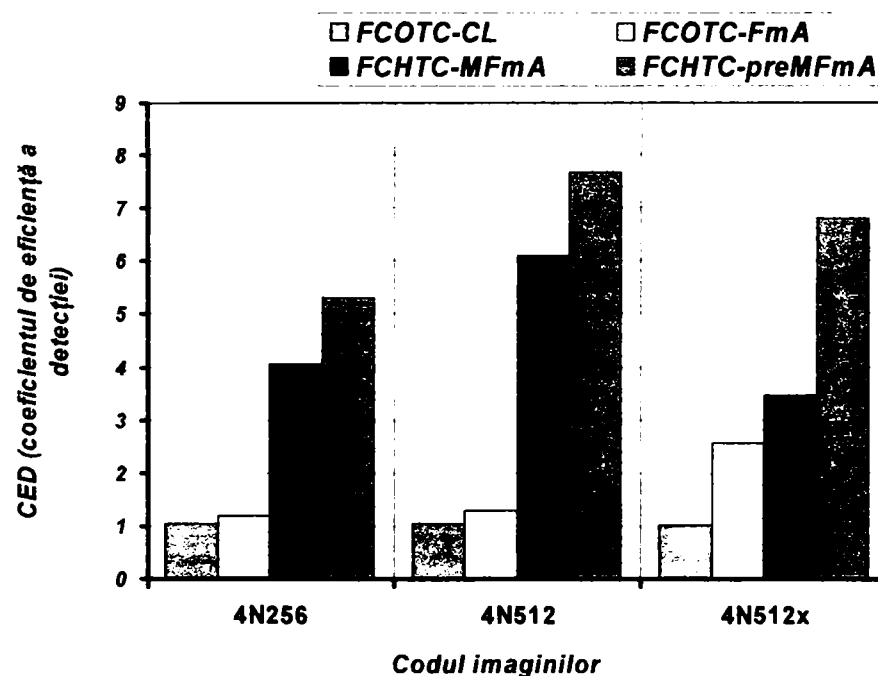


Fig. 4.24 Dependența coeficientului de eficiență la detecție în funcție de spațierea dintre imaginile componente imaginii comune de intrare și de zgomotul aditiv – cazul imaginilor comune de intrare ce conțin patru fețe umane în imaginea scenei.

Imaginile comune de intrare de tip 2N256 și 4N256, respectiv 2N512 și 4N512, au aceeași definiție a imaginilor componente de comparat și de referință. Diferența între cele două tipuri de imagini este spațierea imaginilor componente. Imaginile de tip 2N256 și 2N512 prezintă doar două imagini de comparat în imaginea scenei, localizate în jumătatea inferioară a imaginii comune. Spațierea dintre aceste imagini componente este astfel mare. Imaginile de tip 4N256 și 4N512, conțin patru imagini de comparat în imaginea scenei, acoperind pe orizontală aproape tot spațiul acesteia. Spațierea dintre aceste imagini componente este foarte mică, aproape inexistentă. Imaginea martor (identică sau derivată din imaginea de referință) se poate spune că este astfel încadrată de un zgomot ambiental puternic, constituit din celelalte imagini de tip non-referință. Rezultatele reprezentate în figura 4.25 și figura 4.26, arată că reducerea spațierii dintre imaginile componente ale imaginii scenei duce la scăderea relativă a performanțelor de recunoaștere de forme mult mai mult pentru cazul imaginilor cu definiție mai mare (figura 4.26) față de cele cu definiție mai mică. Motivul este același prezentat anterior în cazul perturbației date de zgomotul aditiv. Ca și în acel caz compararea directă a valorilor coeficientului de eficiență la detecție arată că cele mai mari valori le generează, totuși, imaginile comune de intrare cu definiție mare a imaginilor indiferent de spațierea dintre acestea în imaginea scenei.

Modelul de corelator cel mai robust la zgomot ambiental (spațiere mică) este astfel, corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA), propus de autor.

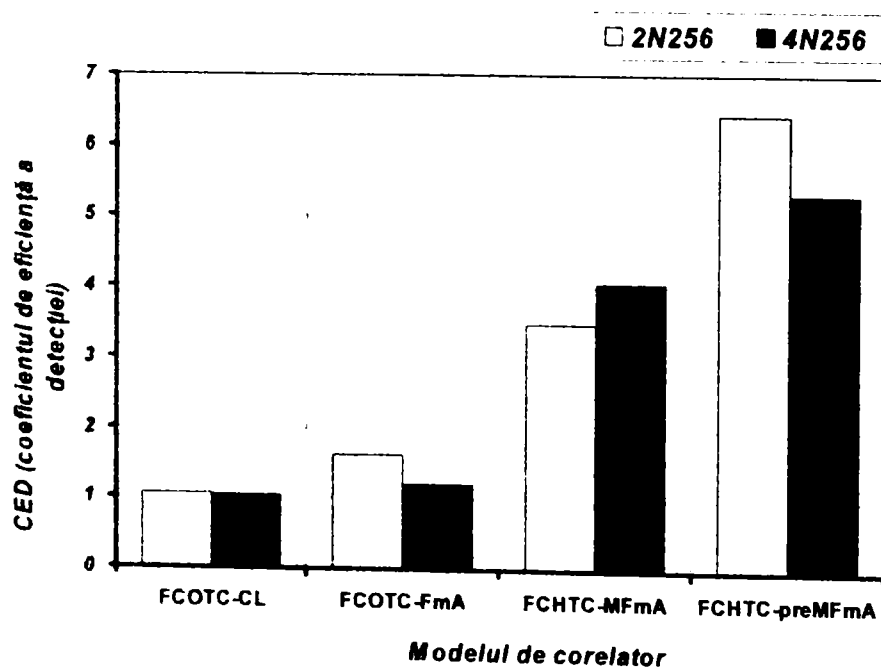


Fig. 4.25 Robuștețea corelatoarelor în domeniul fazei cu transformată comună, la modificarea spațierii imaginilor componente ale imaginii scenei – cazul imaginilor cu definiție mică.

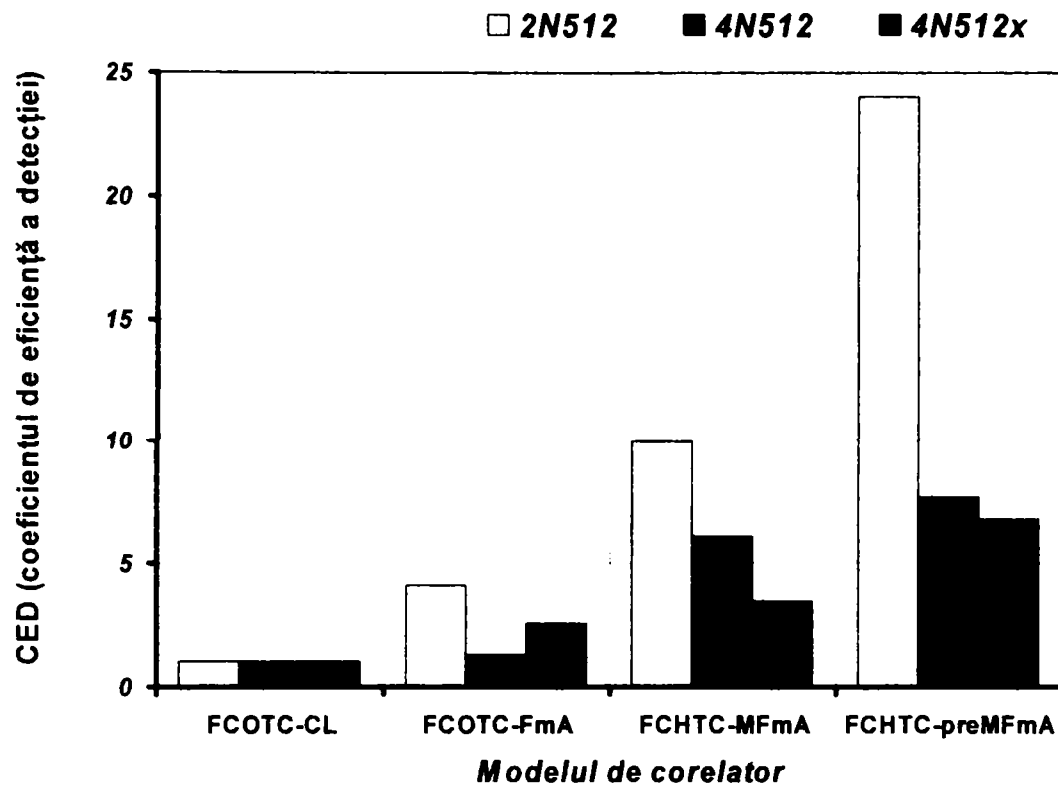


Fig. 4.26 Robuștețea corelatoarelor în domeniul fazei cu transformată comună, la modificarea imaginilor componente ale imaginii scenei – cazul imaginilor cu definiție mare.

Analiza comparativă a performanțelor la recunoașterea de forme pentru toate modele de corelatoare optice sau hibride în domeniul amplitudinii sau fazei cu transformată comună, este prezentată în figura 4.27, pentru toate imaginile comune de intrare cu două imagini de comparat în imaginea scenei, și în figura 4.28 pentru toate imaginile comune de intrare cu patru imagini de comparat în imaginea scenei.

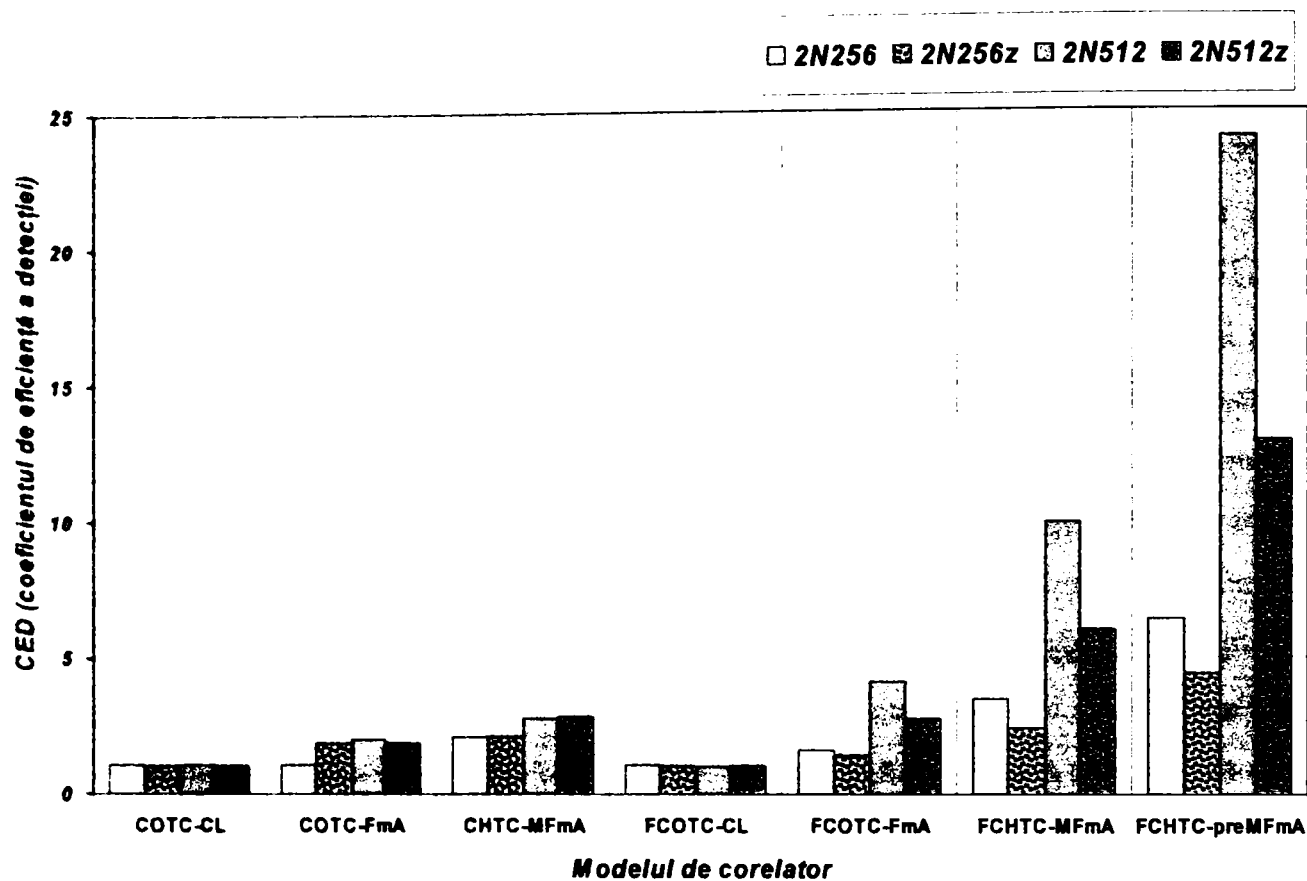


Fig. 4.27 Comparația performanțelor corelatoarelor hibride în domeniul amplitudinii și fazei cu transformată comună, pentru imaginile comune de intrare care conțin două imagini de comparat în imaginea scenei.

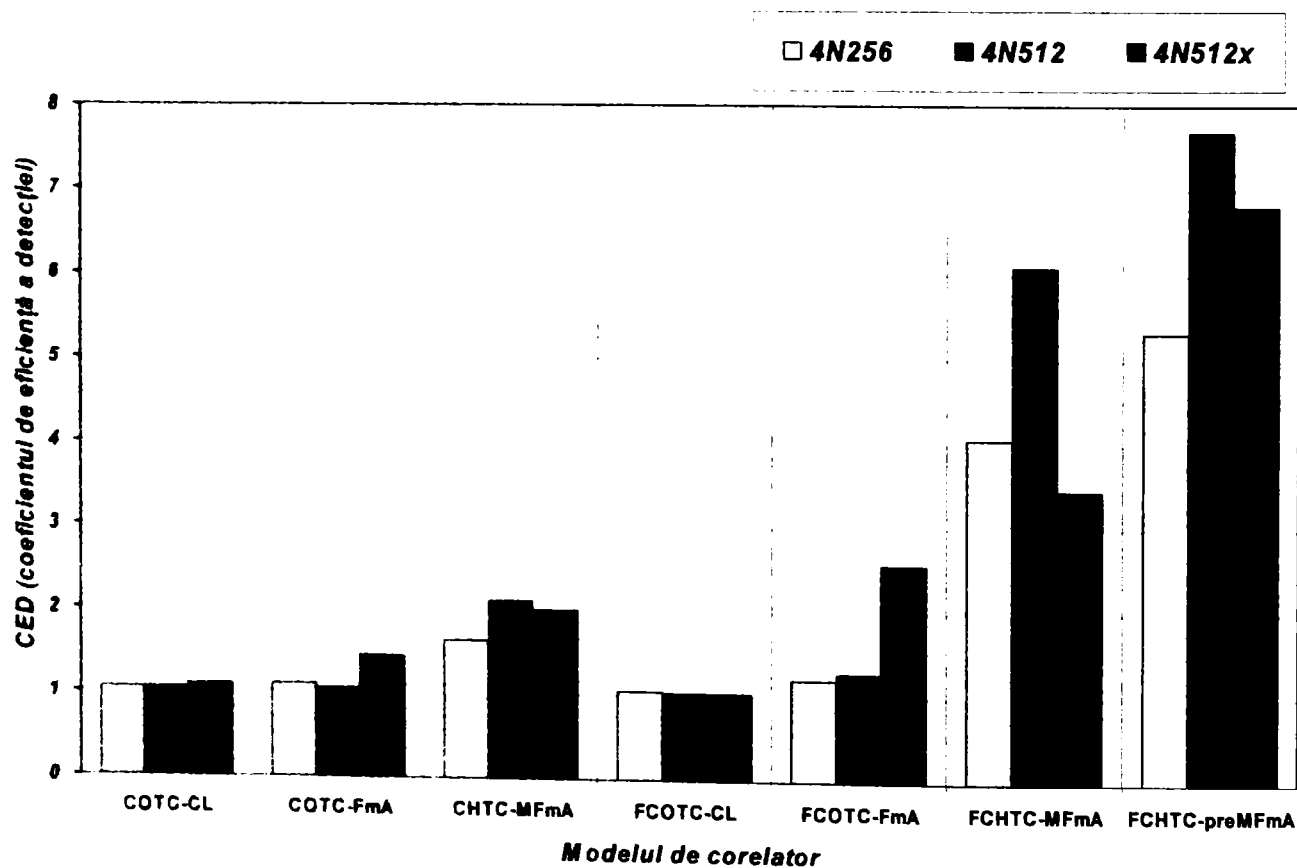


Fig. 4.28 Comparația performanțelor corelatoarelor hibride în domeniul amplitudinii și fazei cu transformată comună, pentru imaginile comune de intrare care conțin patru imagini de comparat în imaginea scenei.

Valorile coeficientului de eficiență la detecție, CED , din figura 4.27 și 4.28 sunt maxime pentru corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA), pentru orice tip de imagine comună de intrare utilizată (figura 3.11).

Concluziile analizei rezultatelor de mai sus, arată că modelul original propus de autor, corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA), are performanțele cele mai mari la recunoașterea de forme și la robustețea față de perturbarea cu zgomot ambiental (spațierea mică dintre imaginile scenei), cu zgomot ambiental aditiv și chiar la schimbarea definiției imaginilor componente ale imaginii comune. Pe locul secund se situează corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-MFmA), modificat de autor din domeniul amplitudinii în domeniul fazei.

O proprietate necesară oricărui model de corelator optic sau hibrid cu transformată comună este robustețea la anumite deformări (zgomot aditiv, rotație, scalare, iluminare laterală) ale imaginii martor, fapt pentru care în capitolele următoare sunt evaluate și analizate performanțelor la recunoașterea de forme ale corelatoarelor hibride cu transformată comună în prezența unor deformări.

Capitolul 5.

Evaluarea și analiza performanțelor corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată, modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA)

5.1 Introducere

În capitolul anterior s-au analizat comparativ performanțele corelatoarelor optice și hibride în domeniul amplitudinii și fazei în funcție de geometria imaginii scenei și a unui caz de deformare a imaginii de referință cu zgomot aditiv. Această analiză a luat în considerare setul de configurații al imaginilor comune utilizate pentru măsurarea și compararea coeficienților de eficiență la detecție, prezentat în figura 3.11. Utilizând acest set s-a stabilit că cel mai performant corelator cu transformată comună este corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată, modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA).

Capitolul curent evaluează și analizează comparativ performanțele acestui model de corelator în cazul unor deformații ale imaginii de referință din imaginea scenei ce trebuie recunoscută: zgomot aditiv aplicat cu intensitate progresivă, iluminări laterale din diferite unghiuri, rotația în planul imaginii cu diferite unghiuri.

Toate aceste deformații aduse imaginii de referință conduc la generarea unui set de imagini asemănătoare, dar nu identice imaginii de referință – numite imagini *martor*. Acest set de imagini de referință deformate vor constitui o clasă, clasa imaginii de referință. Imaginile din această clasă vor

deveni imagini martor ale imaginilor comune de intrare și vor trebui recunoscute de corelator ca fiind din aceeași clasă cu referința și discriminate de restul imaginilor diferite de cele din această clasă (de tip *non-referință*). Restul imaginilor pot face parte din aceeași bază de date de imagini dar din clase aferente diferite. Ca urmare toate imaginile care se aseamănă între ele (practic derivă din aceeași imagine prin deformări date de anumite condiții) vor constitui o clasă. Mulțimea tuturor claselor de imagini disponibile la un moment dat constituie o bază de date de imagini de aceeași natură.

Pentru caracterizarea performanțelor corelatoarelor optice sau hibride cu transformată comună, sunt necesari:

1. Coefficientul de eficiență la detecție [25-58]

$$CED_{xy} = \frac{IMA_imagine_clasaX}{IMC_imagine_clasaY}, \quad (5.1)$$

unde $IMA_imagine_clasaX$ reprezintă intensitatea maximului de autocorelație generat de imaginea martor din aceeași clasă cu imaginea de referință (notată de exemplu cu X), iar $IMC_imagine_clasaY$ reprezintă intensitatea maximului de corelație generat de imaginea de tip non-referință din clasă diferită de cea a referinței (notată de exemplu cu Y). Acest coeficient este de fapt același cu cel utilizat în capitolele anterioare. Cu cât valoarea CED este mai mare cu atât performanțele la detecția și recunoașterea de forme (adică discriminabilitatea) sunt mai bune. Teoretic acest coeficient trebuie să fie supraunitar pentru ca procesul de detecție să aibă succes. În literatura de specialitate valoarea minimă impusă este $CED_{prag} = 1,200$.

2. Coefficientul de eficiență la detecție intra-clasă

$$icCED_{rx} = \frac{IMC_martor_clasaX}{IMA_ref_clasaX}, \quad (5.2)$$

unde IMA_ref_clasaX reprezintă intensitatea maximului de autocorelație generat de imaginea de referință din clasa imaginii de referință (notată de exemplu cu X), iar IMC_martor_clasaX reprezintă intensitatea maximului de corelație generat de imaginea martor din clasa imaginii de referință. Acest coeficient este practic inversul coeficientului CED_{xr} , dar calculat numai pentru recunoașterea imaginilor din aceeași clasă. Cu cât valoarea $icCED$ este mai mare, cu atât performanțele la detecția și recunoașterea de forme pentru imagini din aceeași clasă sunt mai bune. Teoretic acest

coeficient ar trebui să fie aproape de valoarea $icCED \approx 1$ pentru ca procesul de detecție să aibă succes. În mod real, însă, s-a constatat că în general corelatoarele optice sau hibride cu transformată Fourier comună, de tipul celor prezentate anterior, chiar și cu modificări specifice (pentru invarianță la rotație sau scalare, de exemplu) generează coeficienți $icCED$ mult mai mici decât unitatea.

Algoritmul practic pentru caracterizarea performanțelor corelatoarelor optice sau hibride cu transformată Fourier comună, de tipul celor prezentate anterior, presupune următorii pași:

- Se vor genera prin corelație coeficienții

$$\left\{ icCEDr_{x_i}, i = \overline{1, m} \right\}$$

pentru toate imaginile martor din clasa referinței

- Se vor genera prin corelație coeficienții

$$\left\{ CEDxy_{(k,i)}, k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m} \right\}$$

pentru combinațiile dintre toate cele n imagini de tip non-referință, din toate clasele diferite de cea a referinței, cu m imagini din clasa referinței; adică $n = n_{img} \cdot n_Y$, unde n_{img} este numărul de imagini din clasa Y , iar n_Y este numărul de clase diferite de clasa referinței

- Având în vedere ca se dorește compararea performanțelor modelului de corelator ales pentru discriminarea între imaginile dintre clase diferite (caracterizată de $\left\{ CEDxy_{(k,i)}, k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m} \right\}$) și „recunoașterea” imaginilor din aceeași clasă (caracterizată de $\left\{ icCEDr_{x_i}, i = \overline{1, m} \right\}$) prin aceeași mărime fizică se vor calcula (prin abuz de notație)

$$icCEDr_{y(k)} = \frac{IMC_{Yk}}{IMA_{refX}}, k = \overline{1, n}. \quad (5.3)$$

Pentru aceasta scriem

$$\begin{aligned} icCEDr_{y(k,i)} &= \left(\frac{IMC_{Xi}}{IMA_{refX}} \right) \cdot \left(\frac{IMC_{Yk}}{IMC_{Xi}} \right) \\ &= icCEDr_{x_i} \cdot \left(\frac{1}{CEDx_i y_k} \right), k = \overline{1, n} \quad i = \overline{1, m} \end{aligned} \quad (5.4)$$

Pentru același index k valorile $icCEDry_{(k,i)}, i = \overline{1, m}$ ar trebui să fie teoretic egale. În mod practic atunci când se realizează corelațiile dintre

1. imaginea de referință, ref , o imagine martor, X_1 , și o imagine non-referință, Y_1 , rezultă $icCEDrx_1$ și $CEDx_1y_1$.
2. imaginea de referință, ref , o imagine martor, X_2 , și o imagine non-referință, Y_1 , rezultă $icCEDrx_2$ și $CEDx_2y_1$,

valorile $icCEDry_1 = \frac{icCEDrx_1}{CEDx_1y_1}$ și $icCEDry_1 = \frac{icCEDrx_2}{CEDx_2y_1}$ vor fi aproximativ egale.

Neegalitatea acestor valori se datorează faptului că se măsoară aceeași mărime fizică, $icCEDry_1$, utilizând practic două „etalioane” diferite - $icCEDrx_1$ și $icCEDrx_2$ - prin două rapoarte diferite - $CEDx_1y_1$ și $CEDx_2y_1$ - care sunt afectate în mod normal de erori accidentale.

- Succesul procesului de recunoaștere de forme presupune ca valoarea minimă

$icCEDrx_{\min} = \min\left(\left\{icCEDrx_i, i = \overline{1, m}\right\}\right)$ să fie mai mare decât valoarea maximă posibilă

statistic $icCEDry_{\max} = \max\left(\left\{icCEDry_{(k,i)}, k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}\right\}\right)$.

Se alege valoarea maximă pentru coeficientul $icCEDry$, în felul următor

$$\begin{aligned} icCEDry_{(i)} &= \max_{i=1, n} \left[icCEDrx_i \cdot \left(\frac{1}{CEDx_i y_k} \right) \right] \\ &= icCEDrx_i \cdot \left[\frac{1}{\min_{k=1, n} (CEDx_i y_k)} \right], i = \overline{1, m} \end{aligned} \quad (5.5)$$

Această metodă practică de alegere a lui $icCEDry_{\max}$ după indexul i , respectă consecvența artificiei de calcul din relația (5.4) în care se utilizează aceeași valoare a intensității maximului de corelație, IMC_Xi , pentru a rescrie relația (5.3). Astfel coeficientul $icCEDry$ este descris consecvent de setul de valori $icCEDry_i, i = \overline{1, m}$ obținute după metoda descrisă anterior și propusă de autor.

Se alege valoarea minimă $icCEDrx_{\min}$ din setul generat, $\left\{icCEDrx_i, i = \overline{1, m}\right\}$. Dacă avem

$$\boxed{icCEDrx_{\min} > icCEDry_{\max}} \quad (5.6)$$

atunci se poate spune că modelul de corelator ales poate realiza cu succes discriminarea între imaginile dintre clase diferite dar și „recunoașterea” imaginilor din aceeași clasă.

Din aceste considerente se poate observa că autorul propune generarea setului de valori ale coeficienții $\left\{icCEDrx_i, i = \overline{1, m}\right\}$ și $\left\{CEDxy_{(k,i)}, k = \overline{1, n} \quad i = \overline{1, m}\right\}$, după care se calculează setul de valori $\left\{icCEDry_{(k)}, k = \overline{1, n}\right\}$ pentru compararea performanțelor de discriminare inter-clase și intra-clasă a corelatorului studiat. În mod normal ar trebui generat direct setul de valori ale coeficienților $\left\{icCEDry_{(k)}, k = \overline{1, n}\right\}$. Utilizarea setului de valori ale coeficienților $\left\{CEDxy_{(k,i)}, k = \overline{1, n} \quad i = \overline{1, m}\right\}$ are avantajul că pentru coeficienții de tip CED avem o valoare de prag, $CED_{\text{prag}} = 1,200$, care validează succesul în procesul de corelație, respectiv de recunoaștere de forme. Practic dacă se generează prima dată setul de valori ale coeficienților $\left\{CEDxy_{(k,i)}, k = \overline{1, n} \quad i = \overline{1, m}\right\}$ și se compară cu valoarea de prag, se poate obține imediat informația directă asupra performanțelor de recunoaștere de forme a corelatorului studiat. Din alt punct de vedere acest coeficient $CEDxy$ prezintă direct corelația dintre clasa X și clasa Y , fără a mai fi practic necesari și alți pași.

Ca urmare, mărimea cea mai importantă în compararea statistică a performanțelor la recunoașterea de forme cu corelatoarele optice sau hibride cu transformată comună, este coeficientul de eficiență la detecție \underline{CEDxy} , mai precis valoarea minimă a acestuia peste toate combinațiile descrise anterior. Alături de acesta, pentru a avea o descriere cantitativă completă, vor mai fi adăugați în tabelele de ierarhizare a performanțelor la recunoașterea de forme și coeficienții $icCEDrx_{\min}$, $icCEDry_{\max}$ și diferența dintre acești ultimi doi coeficienți.

5.2 Evaluarea performanțelor la recunoașterea de forme ale corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA) în funcție de geometria imaginii scenei

Noțiunea de geometrie a imaginii scenei a fost utilizată ca substitut al spațierii dintre imaginile componente ale acesteia și a rezoluției (definiției) acestor imagini. Suplimentar a fost considerată și prezența unui zgomot aditiv (50%) aplicat imaginilor martor (derivate astfel din imaginea de referință). Autorul a realizat această evaluare ca o finalizare a celor făcute în capitolul 3 – pentru corelatoarele în domeniul amplitudinii cu transformată comună – și în capitolul 4 – pentru corelatoarele în domeniul fazei cu transformată comună.

Setul de imagini comune utilizat în aceste două evaluări comparative, dat în tabelul 3.11, a fost utilizat și aici pentru a genera rezultatele corelației cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA) prezentate în tabelul 5.2 și reprezentate grafic în figura 5.1.

Acest subcapitol are, prin urmare, intenția de a finaliza analizele comparative anterioare, de a pune în evidență performanțele maxime ale corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA) și de a face o introducere a modului de ierarhizare a performanțelor acestui corelator în funcție de cei doi parametri: domeniul de fază, $dfPSLM$, și domeniul de premodulare, $dfPRE$.

Domeniile de premodulare și de fază alese în acest subcapitol sunt prezentate în tabelul 5.1. Domeniile de fază au fost alese astfel încât să acopere domeniile modulatorilor de fază a luminii (PSLM) existente fizic. Rezultatele, din tabelul 5.2, s-au obținut realizând procesul de corelație pentru combinațiile dintre toate domeniile de fază $dfPSLM$ (a, b, c, d, e, f) cu fiecare domeniu de premodulare, $dfPRE$, în parte.

Tabelul 5.1

Setul de domenii de fază, $dfPLSM$, și de premodulare, $dfPRE$, alese pentru studiul performanțelor de recunoaștere de forme cu corelatorul (FCHTC-preMFmA).

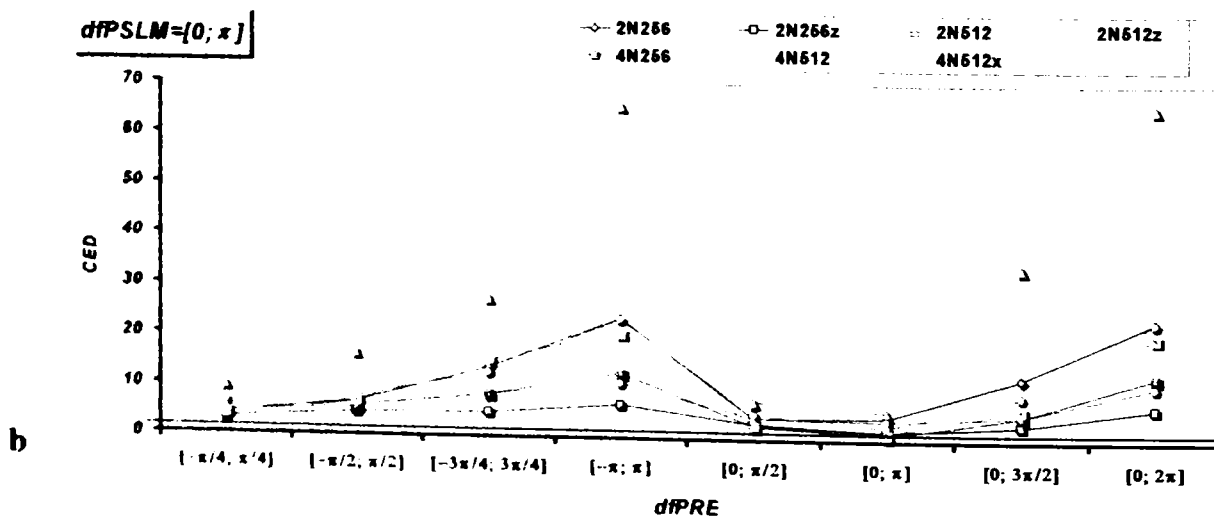
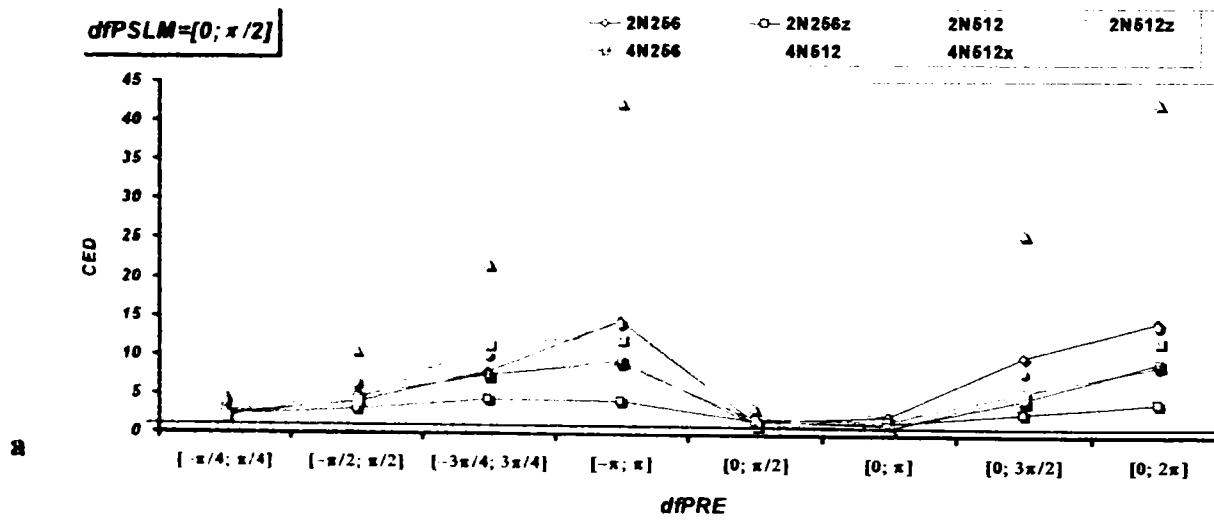
$dfPLSM$		$dfPRE$	
1	$[0; \pi/2]$	1	$[-\pi/4; \pi/4]$
2	$[0; \pi]$	2	$[-\pi/2; \pi/2]$
3	$[0; 1,2\pi]$	3	$[-3\pi/4; 3\pi/4]$
4	$[0; 1,4\pi]$	4	$[-\pi; \pi]$
5	$[0; 1,6\pi]$	5	$[0; \pi/2]$
6	$[0; 2\pi]$	6	$[0; \pi]$
		7	$[0; 3\pi/2]$
		8	$[0; 2\pi]$

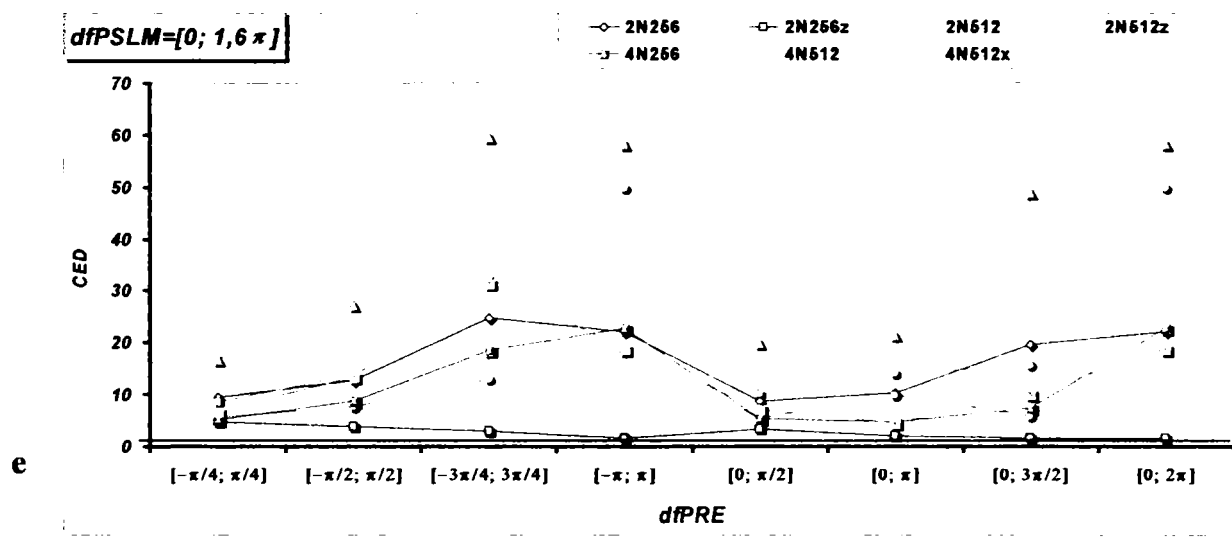
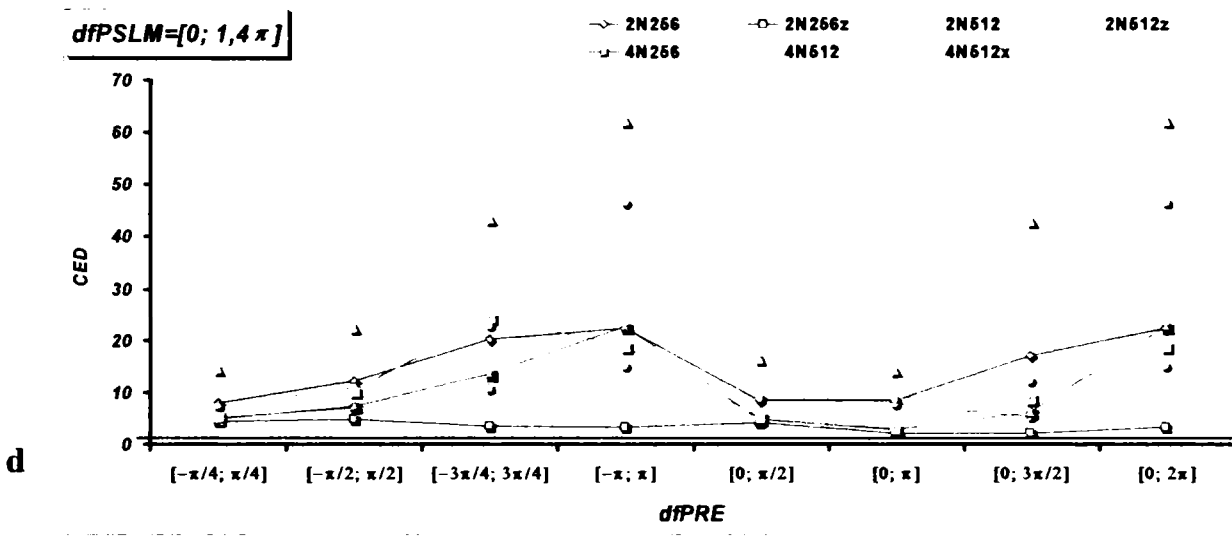
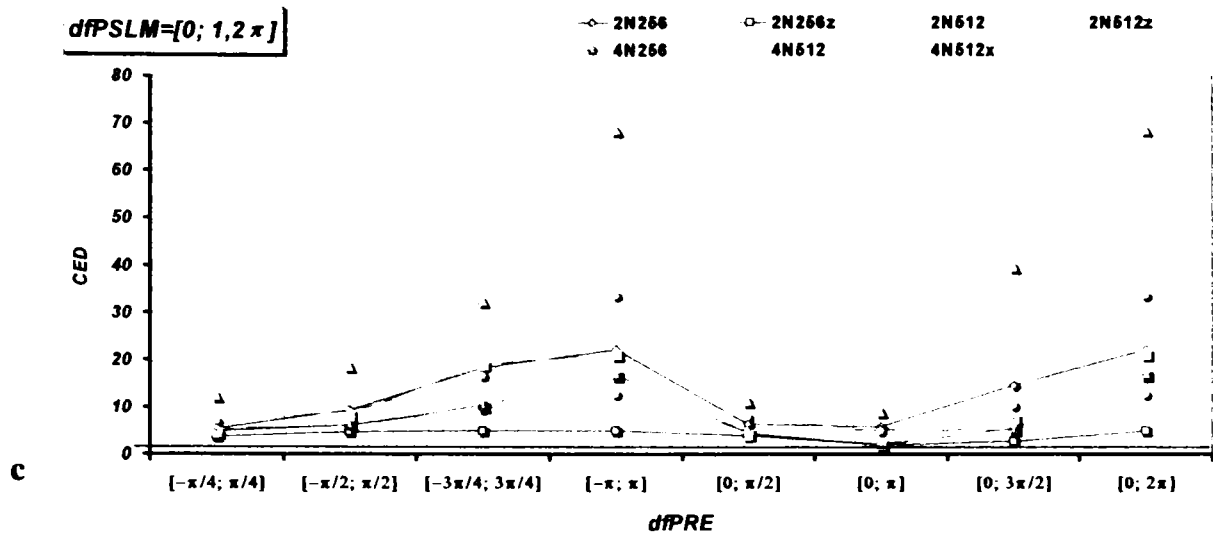
Tabelul 5.2

Rezultatele procesului de corelație – coeficientul de eficiență la detecție, CED – pentru setul de imagini din tabelul 3.11 și pentru domeniile de fază, $dfPLSM$, și de premodulare, $dfPRE$, din tabelul 5.1, cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA).

$dfPLSM$	$dfPRE$	2N256	2N256z	2N512	2N512z	4N256	4N512	4N512x
$[0; \pi/2]$	$[-\pi/4; \pi/4]$	2,398	2,185	4,709	2,914	2,638	3,755	2,002
	$[-\pi/2; \pi/2]$	4,001	3,020	10,577	6,143	4,665	6,419	4,140
	$[-3\pi/4; 3\pi/4]$	7,972	4,386	21,672	7,495	7,422	9,922	11,613
	$[-\pi; \pi]$	14,470	4,221	42,336	8,944	9,403	14,073	12,258
	$[0; \pi/2]$	1,829	1,777	3,573	2,117	1,401	1,902	1,469
	$[0; \pi]$	2,492	1,618	2,614	1,835	1,025	1,360	1,041
	$[0; 3\pi/2]$	10,090	2,971	25,830	5,539	4,708	8,205	5,257
	$[0; 2\pi]$	14,470	4,221	42,336	8,944	9,403	14,073	12,258
$[0; \pi]$	$[-\pi/4; \pi/4]$	4,013	3,255	9,470	5,035	4,293	6,194	4,057
	$[-\pi/2; \pi/2]$	6,439	4,413	16,179	5,753	5,316	7,681	6,803
	$[-3\pi/4; 3\pi/4]$	13,663	4,826	27,288	8,358	8,394	12,716	15,320
	$[-\pi; \pi]$	23,652	6,489	65,595	10,817	12,911	23,324	20,736
	$[0; \pi/2]$	4,205	3,041	7,427	4,211	2,785	4,941	3,019
	$[0; \pi]$	4,420	1,867	5,702	3,839	1,086	2,805	1,494
	$[0; 3\pi/2]$	12,457	3,138	33,959	4,874	4,955	8,874	6,316
	$[0; 2\pi]$	23,652	6,489	65,595	10,817	12,911	23,324	20,736
$[0; 1,2\pi]$	$[-\pi/4; \pi/4]$	5,390	3,754	12,148	4,986	4,605	6,740	4,574
	$[-\pi/2; \pi/2]$	9,290	4,726	18,534	6,132	6,200	8,892	8,151
	$[-3\pi/4; 3\pi/4]$	18,255	4,869	32,236	9,365	10,255	16,481	18,892
	$[-\pi; \pi]$	22,141	4,889	68,764	12,621	16,700	33,467	21,062
	$[0; \pi/2]$	6,270	3,849	11,196	4,956	4,360	7,834	4,110
	$[0; \pi]$	5,890	2,015	9,018	5,218	1,832	4,744	2,243
	$[0; 3\pi/2]$	14,666	2,754	39,637	4,988	5,367	10,172	7,536
	$[0; 2\pi]$	22,141	4,889	68,764	12,621	16,700	33,467	21,062
$[0; 1,4\pi]$	$[-\pi/4; \pi/4]$	7,893	4,326	14,461	5,153	4,849	7,366	5,537
	$[-\pi/2; \pi/2]$	12,209	4,805	22,424	6,772	7,276	10,923	10,245
	$[-3\pi/4; 3\pi/4]$	20,208	3,634	43,503	10,633	13,587	22,866	24,397
	$[-\pi; \pi]$	22,367	3,293	62,282	14,962	22,568	46,511	18,912
	$[0; \pi/2]$	8,425	4,163	16,463	5,086	4,976	8,793	5,316
	$[0; \pi]$	8,407	2,274	14,124	7,680	2,979	8,703	2,999
	$[0; 3\pi/2]$	17,099	2,186	42,887	5,352	6,244	12,271	8,813
	$[0; 2\pi]$	22,367	3,293	62,282	14,962	22,568	46,511	18,912
$[0; 1,6\pi]$	$[-\pi/4; \pi/4]$	9,268	4,667	16,774	5,490	5,064	8,451	6,798

$d\theta_{PSLM}$	$d\theta_{PRE}$	2N256	2N256z	2N512	2N512z	4N256	4N512	4N512x
	$[-\pi/2, \pi/2]$	12.697	3.844	27.139	7.652	8.656	13.756	13.469
	$[-3\pi/4, 3\pi/4]$	24.678	2.893	59.553	12.821	18.429	32.144	31.485
	$[-\pi, \pi]$	22.060	1.656	58.232	18.215	22.824	49.696	18.667
	$[0, \pi/2]$	8.647	3.355	19.851	5.457	5.338	10.095	7.139
	$[0, \pi]$	10.274	2.028	21.413	9.778	4.681	14.095	4.457
	$[0, 3\pi/2]$	19.638	1.608	48.809	5.887	7.382	15.534	10.020
	$[0, 2\pi]$	22.060	1.656	58.232	18.215	22.824	49.696	18.667
$[0, 2\pi]$	$[-\pi/4, \pi/4]$	10.734	3.470	24.565	6.389	6.616	12.388	11.063
	$[-\pi/2, \pi/2]$	16.947	2.595	38.263	10.710	14.819	23.628	21.639
	$[-3\pi/4, 3\pi/4]$	42.534	1.131	81.491	20.999	24.560	56.266	36.541
	$[-\pi, \pi]$	23.955	1.709	63.039	27.479	23.346	53.562	16.947
	$[0, \pi/2]$	11.734	2.541	25.585	7.724	7.300	13.314	10.599
	$[0, \pi]$	18.167	1.398	57.381	14.381	11.880	36.873	10.132
	$[0, 3\pi/2]$	23.402	1.312	67.390	7.739	10.567	22.141	14.236
	$[0, 2\pi]$	23.955	1.709	63.039	27.479	23.346	53.562	16.947
	CED minim	1,829	1,131	2,614	1,835	1,025	1,360	1,041
	CED maxim	42,534	6,489	81,491	27,479	24,560	56,266	36,541
	CED mediu	14,042	3,234	34,465	9,074	9,625	18,761	11,668
	SD CED	8,315	1,340	22,580	5,778	6,993	15,814	8,170
	iSD CED	0,120	0,746	0,044	0,173	0,143	0,063	0,122





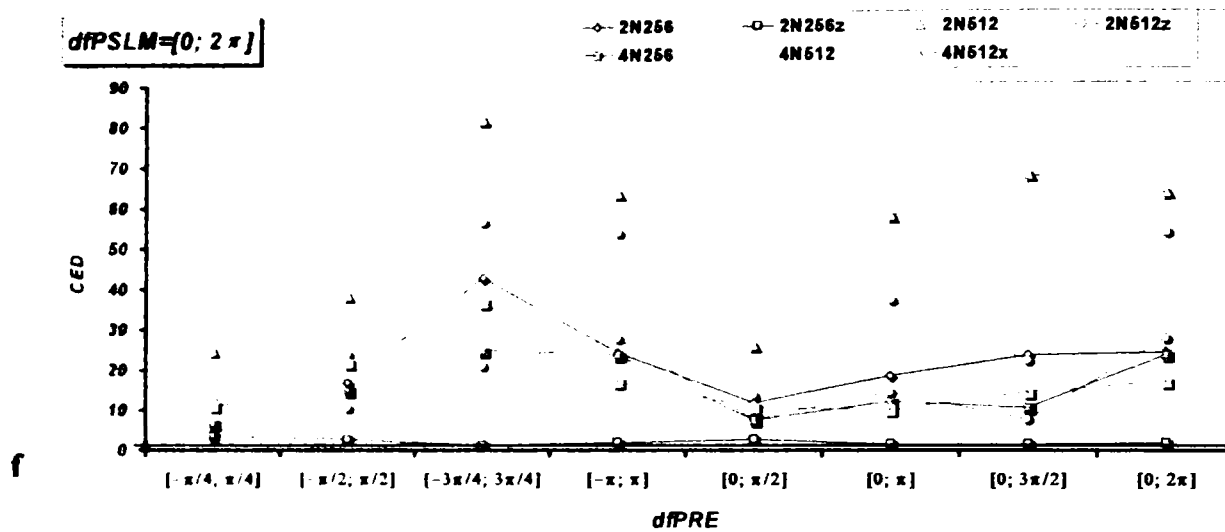


Fig. 5.1 Reprezentarea grafică a rezultatelor corelației – coeficientul de eficiență la detecție, CED – pentru setul de imagini din figura 3.11. cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA). Sunt date graficele dependenței coeficientului CED pentru fiecare domeniu de fază $dfPSLM$ (a, b, c, d, e, f.) în funcție de cele opt domenii de premodulare $dfPRE$.

În continuare sunt prezentate prelucrările statistice ale rezultatelor date în tabelul 5.2. Aceste prelucrări statistice sunt realizate cu scopul de a genera o ierarhie a performanțelor de recunoaștere de forme pentru parametrii implicați în studiu în vederea stabilirii combinației dintre domeniul de fază și de premodulare care generează performanțele maxime la recunoașterea de forme.

În tabelul 5.3, parametrul $dfPRE$ cu performanțele de detecție (discriminabilitate) cele mai bune este cel care se găsește pe primul loc în coloana ierarhizării acestui parametru corespunzător fiecărui domeniu $dfPSLM$. Ierarhizarea ia în considerare simultan două mărimi:

1. valoarea minimă a coeficientului de detecție, CED_{minim} , peste toate imaginile de intrare considerate pentru fiecare domeniu $dfPRE$ corespunzător domeniilor $dfPSLM$; cu cât valoarea minimă este mai mare cu atât performanțele parametrului – domeniul de premodulare, $dfPRE$ – sunt mai mari,
2. valoarea medie a coeficientului de detecție, CED_{mediu} , peste toate imaginile de intrare considerate pentru fiecare domeniu $dfPRE$ corespunzător domeniilor $dfPSLM$; cu cât valoarea medie este mai mare cu atât performanțele parametrului – domeniul de premodulare, $dfPRE$ – sunt mai mari.

Alegerea valorii minime a coeficientului de eficiență la detecție, CED_{minim} , este impusă de faptul că în procesul de recunoaștere de forme, toate valorile ce reprezintă setul de rezultate de corelație, $\{CED_i, i = 1, n\}$, trebuie să fie mai mari decât valoarea de prag, $CED_{\text{prag}} = 1,200$, convenit

în literatura de specialitate [32] pentru ca acest proces să aibă succes. În consecință, dacă valoarea minimă a acestui set de rezultate, CED_{minim} , va fi mai mare decât cea de prag, CED_{prag} , atunci oricare dintre celelalte valori va fi implicit mai mare decât cea de prag. Practic, când se prelucrează statistic sau se analizează comparativ valorile coeficientului $\left\{ CED_i, i = \overline{1, n} \right\}$ obținute pentru unul sau mai mulți parametri, performanțele de recunoaștere de forme ale acestora vor fi caracterizate de valoarea minimă a coeficientului de eficiență la detecție, CED_{minim} .

Metoda de ierarhizare considerată de autor este cea care presupune calcularea normei L_p , valoarea lui $p = 3$ fiind considerată ca fiind cea care stabilește cel mai bine combinația neliniară dintre cele două mărimi ierarhizatoare simultan, fără a fi prea aproape de norma L_2 (ce reprezintă abaterea standard) sau L_∞ (ce redă valoarea maximă). Înainte de a calcula norma L_p , valorile pentru cele două mărimi ce concură la ierarhizarea simultană, sunt rescalate identic între $[0; 10]$.

Coloana a treia este cea care conține validarea parametrului (domeniului $dfPRE$) considerat din punctul de vedere al performanței la detecție prin coeficientul de eficiență la detecție CED care trebuie să ia valoare mai mare decât cea de prag, $CED_{\text{prag}} = 1,200$. Dacă $CED_{\text{minim}} \geq CED_{\text{prag}}$ atunci parametrul respectiv utilizat în corelatorul studiat (FCHTC-preMFmA) reușește să detecteze imaginea de referință dată – fapt marcat cu „OK” și este valid. În caz contrar parametrul respectiv nu este valid – fapt marcat cu „X” – el fiind eliminat din analiză. De exemplu în tabelul 5.3, în cazul parametrului $dfPSLM = [0; \pi/2]$, parametrul de tip $dfPRE$ care conferă performanța cea mai bună de recunoaștere de forme este $dfPRE = [-\pi; \pi]$ la egalitate perfectă cu $dfPRE = [0; 2\pi]$. Acestea generează valorile cele mai mari pentru $CED_{\text{minim}} = 4,221$ și $L_p|_{p=3} = 12,298$. În coloana ierarhizării parametrilor acest parametru are valoare 1, adică se găsește pe primul loc în ierarhie din punct de vedere al performanței de recunoaștere de forme pentru toate domeniile de premodulare considerate (vezi tabelul 5.1) în cazul domeniului de fază $dfPSLM = [0; \pi/2]$.

Tabelul 5.3

Clasificarea domeniilor $dfPRE$ corespunzătoare fiecărui domeniu $dfPLSM$, pentru toate imaginile de intrare considerate. Domeniul $dfPRE$ cu performanțele de detecție (discriminabilitate) cele mai bune este cel care se găsește pe primul loc în coloana ierarhizării acestui parametru corespunzător fiecărui domeniu $dfPSLM$.

$dfPSLM$	$dfPRE$	CED Ok	CED minim	CED mediu	Norma Lp $p = 3$	Ierarhie parametrii
[0, $\pi/2$]	[- π ; π]	OK	4,221	15,101	12,298	1
	[0; 2π]	OK	4,221	15,101	12,298	2
	[- $\pi/2$; $\pi/2$]	OK	4,386	10,069	10,753	3
	[0; $3\pi/2$]	OK	2,971	8,943	7,058	4
	[- $3\pi/4$; $3\pi/4$]	OK	3,020	5,567	6,154	5
	[- $\pi/4$; $\pi/4$]	OK	2,002	2,943	2,939	6
	[0; $\pi/2$]	OK	1,401	2,010	1,122	7
	[0; π]	X	1,025	1,712	0,000	8
[0; π]	[- π ; π]	OK	6,489	23,361	12,599	1
	[0; 2π]	OK	6,489	23,361	12,599	2
	[- $\pi/2$; $\pi/2$]	OK	4,826	12,938	7,648	3
	[- $3\pi/4$; $3\pi/4$]	OK	4,413	7,512	6,251	4
	[0; $3\pi/2$]	OK	3,138	10,653	4,755	5
	[- $\pi/4$; $\pi/4$]	OK	3,255	5,188	4,039	6
	[0; $\pi/2$]	OK	2,785	4,233	3,153	7
	[0; π]	X	1,086	3,030	0,000	8
[0; $1,2\pi$]	[- π ; π]	OK	4,889	25,664	12,599	1
	[0; 2π]	OK	4,889	25,664	12,599	2
	[- $\pi/2$; $\pi/2$]	OK	4,869	15,765	10,424	3
	[- $3\pi/4$; $3\pi/4$]	OK	4,726	8,847	9,501	4
	[0; $\pi/2$]	OK	3,849	6,082	6,602	5
	[- $\pi/4$; $\pi/4$]	OK	3,754	6,028	6,290	6
	[0; $3\pi/2$]	OK	2,754	12,160	4,231	7
	[0; π]	OK	1,832	4,423	0,000	8
[0; $1,4\pi$]	[- π ; π]	OK	3,293	27,271	10,246	1
	[0; 2π]	OK	3,293	27,271	10,246	2
	[- $3\pi/4$; $3\pi/4$]	OK	4,805	10,665	10,023	3
	[- $\pi/4$; $\pi/4$]	OK	4,326	7,083	8,172	4
	[0; $\pi/2$]	OK	4,163	7,603	7,549	5
	[- $\pi/2$; $\pi/2$]	OK	3,634	19,833	7,537	6
	[0; $3\pi/2$]	OK	2,186	13,550	3,318	7
	[0; π]	OK	2,274	6,738	0,335	8
[0; $1,6\pi$]	[- π ; π]	OK	1,656	27,336	10,000	1
	[0; 2π]	OK	1,656	27,336	10,000	2
	[- $\pi/4$; $\pi/4$]	OK	4,667	8,073	10,000	3
	[- $\pi/2$; $\pi/2$]	OK	2,893	26,000	9,584	4
	[- $3\pi/4$; $3\pi/4$]	OK	3,844	12,459	7,381	5
	[0; $\pi/2$]	OK	3,355	8,554	5,709	6
	[0; $3\pi/2$]	OK	1,608	15,554	3,884	7
	[0; π]	OK	2,028	9,532	1,445	8
[0; 2π]	[- $\pi/4$; $\pi/4$]	OK	3,470	10,746	10,000	1
	[- π ; π]	OK	1,709	30,005	7,256	2
	[0; 2π]	OK	1,709	30,005	7,256	3
	[- $3\pi/4$; $3\pi/4$]	OK	2,595	18,372	6,448	4
	[0; $\pi/2$]	OK	2,541	11,257	6,028	5
	[0; π]	OK	1,398	21,459	4,013	6
	[0; $3\pi/2$]	OK	1,312	20,969	3,811	7
	[- $\pi/2$; $\pi/2$]	X	1,131	37,646	10,000	8

Combi-națiile dintre parametrii $dfPSLM$ și $dfPRE$ care asigură pentru toate imaginile de intrare considerate simultan, cele mai bune performanțe la recunoașterea de forme realizate cu corelatorul (FCHTC-preMFmA) sunt – la egalitate – $dfPSLM = [0; \pi]$ cu $dfPRE = [-\pi; \pi]$ și $dfPRE = [0; 2\pi]$. Aceste două combinații au cea mai bună valoare minimă a coeficientului de detecție $CED_{\min} = 6,489$ dintre toate combinațiile realizate.

În mod analog descrierii de mai sus, parametrul de tip $dfPRE$ care realizează pentru orice tip de imagine considerată, din setul dat în tabelul 3.11, și pentru orice domeniu de fază, $dfPSLM$ din

tabelul 5.1, se găsește pe primul loc în tabelul 5.4, și anume $dfPSLM = [0; \pi]$ la egalitate cu $dfPRE = [-\pi; \pi]$. Acestor doi parametri le urmează parametrul $dfPRE = [-\pi/2; \pi/2]$ care are cea mai bună valoare $CED_{\text{minim}} = 2,595$, dar o valoare CED_{mediu} mai mică decât primii doi, ceea ce a dus obținerea unei norme Lp mai mică.

Tabelul 5.4

Clasificarea performanțelor corelatorului studiat pentru fiecare $dfPRE$, simultan pentru toate domeniile $dfPLSM$ și pentru toate imaginile de intrare considerate. Domeniul $dfPRE$ cu performanțele de detecție (discriminabilitate) cele mai bune este cel care se găsește pe primul loc în coloana ierarhizării.

Codul imaginilor	$dfPSLM$	$dfPRE$	Validare $CED > 1,20$	CED_{minim}	CED_{mediu}	Norma $Lp p = 3$	Ierarhie parametrii
2N256	$[0; \pi/2]$	$[-\pi; \pi]$	Ok	1,656	24,789	10,212	1
2N256z	$[0; \pi]$	$[0; 2\pi]$	Ok	1,656	24,789	10,212	2
2N512	$[0; 1,2\pi]$	$[-\pi/2; \pi/2]$	Ok	2,595	10,570	10,034	3
2N512z	$[0; 1,4\pi]$	$[-\pi/4; \pi/4]$	Ok	2,002	6,677	6,226	4
4N256	$[0; 1,6\pi]$	$[0; 3\pi/2]$	Ok	1,312	13,638	3,993	5
4N512	$[0; 2\pi]$	$[0; \pi/2]$	Ok	1,401	6,623	2,396	6
4N512x		$[-3\pi/4; 3\pi/4]$	X	1,131	20,375	7,572	7
		$[0; \pi]$	X	1,025	7,816	0,656	8

Rezultatele relevate de tabelul 5.5 confirmă concluziile capitolului 4 cu privire la dependența performanțelor corelatoarelor hibride în domeniul fazei cu transformată comună de spațierea dintre imaginile componente ale imaginii comune și de definiția (rezoluția) acestor imagini – aici fiind considerată și prezența zgomotului aditiv.

Tabelul 5.5

Clasificarea performanțelor corelatorului studiat pentru fiecare imagine de intrare considerată, simultan pentru toate domeniile $dfPRE$ și toate domeniile $dfPLSM$.

$dfPLSM$	$dfPRE$	Cod imagine	Validare $CED > 1,20$	CED minim	CED mediu	Norma L_p $p = 3$	Ierarhie parametrii
$[0; \pi/2]$	$[-\pi/4; \pi/4]$	2N512	Ok	2,614	34,465	10,000	1
$[0; \pi]$	$[-\pi/2; \pi/2]$	2N512z	Ok	1,835	9,074	5,098	2
$[0; 1,2\pi]$	$[-3\pi/4; 3\pi/4]$	2N256	Ok	1,829	14,042	5,058	3
$[0; 1,4\pi]$	$[-\pi; \pi]$	4N512	Ok	1,360	18,761	2,106	4
$[0; 1,6\pi]$	$[0; \pi/2]$	2N256z	X	1,131	3,234	0,670	5
$[0; 2\pi]$	$[0; \pi]$	4N512x	X	1,041	11,668	0,101	6
	$[0; 3\pi/2]$	4N256	X	1,025	9,625	0,000	7
	$[0; 2\pi]$						

Prezența unui zgomot aditiv în imaginea martor (respectiv derivată din imaginea de referință) duce la scăderea performanțelor corelatorului (FCHTC-preMFmA) cu aproximativ 30% pentru imagini cu definiția și spațierea bune, de tipul 2N512, iar procesul de recunoaștere are în continuare succes. Pentru imagini cu definiția și spațierea de două ori mai mici, de tipul 2N256, scăderea performanțelor de recunoaștere de forme – adică a valorilor CED_{minim} – este de 38%, iar procesul de recunoaștere de forme cu corelatorul studiat, (FCHTC-preMFmA), eșuează pentru una din cele 48 de combinații posibile ale domeniilor de premodulare cu cele de fază – tabelul 5.5.

Spațierea geometrică foarte mică în imaginea comună, imagini de tipul 4N256, sau definiția (rezoluția) imaginilor componente ale imaginii comune cu o spațiere bună, imaginea 4N512x, provoacă eșuarea (sau invalidarea) procesului de recunoaștere de forme pentru cel puțin una din cele 48 de combinații posibile ale domeniilor de premodulare cu cele de fază – după cum reiese din tabelul 5.5.

Ultime două paragrafe sunt valabile pentru evaluarea performanțelor de recunoaștere de forme simultan pentru orice domeniu $dfPLSM$ și orice domeniu $dfPRE$ considerate în tabelul 5.1. Concluzia cea mai importantă ce se desprinde de aici este că pentru imagini cu o geometrie bună a spațierii dintre imaginile componente ale imaginii comune și cu o definiție bună, procesul de recunoaștere de forme cu corelatorul (FCHTC-preMFmA) are succes în oricare din condițiile impuse și descrise mai sus.

5.3 Evaluarea performanțele corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA) în prezența zgomotului aditiv

Evaluarea performanțelor de recunoaștere a formelor realizat în subcapitolul anterior a arătat că prezența unui zgomot aditiv în imaginea martor asemănătoare cu cea de referință, reduce substanțial performanțele corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA). S-a mai arătat (în tabelul 5.5) faptul că dacă imaginea comună are și o definiție (rezoluție) mică a imaginilor componente atunci există posibilitatea ca pentru anumite combinații ale parametrilor $dfPLSM$ și $dfPRE$ procesul de recunoaștere de forme să eșueze pentru corelatorul (FCHTC-preMFmA). Rezultatele prezentate în tabelul 5.5 care au dus la aceste concluzii au fost realizate doar cu setul de domenii de premodulare dat în tabelul 5.1. Pentru o evaluare completă a performanțelor corelatorului (FCHTC-preMFmA) în prezența zgomotului aditiv s-au considerat trei seturi de domenii de premodulare $dfPRE$ (tabelul 5.6) și s-au păstrat domeniile de fază $dfPLSM$ din tabelul 5.1.

Punctele de definiție a acestor domenii de premodulare sunt puncte pentru care funcția de premodulare, dată de relația (4.35), ia valori particulare, maxime, minime sau de inflexiune.

Tabelul 5.6

Setul de domenii de fază, $dfPLSM$, și de premodulare, $dfPRE$ alese pentru studiul performanțelor de recunoaștere de forme cu corelatorul (FCHTC-preMFmA) la deformarea cu zgomot aditiv.

$dfPSLM$		Setul I	Setul II	Setul III	
		$dfPRE$	$dfPRE$	$dfPRE$	
1	$[0; \pi/2]$	1	$[\pi/4; \pi]$	1	$[-\pi/4; \pi/4]$
2	$[0; \pi]$	2	$[\pi/4; 5\pi/4]$	2	$[-\pi/2; \pi/2]$
3	$[0; 1,2\pi]$	3	$[\pi/4; 3\pi/2]$	3	$[-3\pi/4; 3\pi/4]$
4	$[0; 1,4\pi]$	4	$[\pi/4; 7\pi/4]$	4	$[-\pi; \pi]$
5	$[0; 1,6\pi]$	5	$[\pi/4; 2\pi]$	5	$[0; \pi/2]$
6	$[0; 2\pi]$	6	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	6	$[0; \pi]$
		7	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	7	$[0; 3\pi/2]$
		8	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	8	$[0; 2\pi]$
		9	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	9	
		10	$[3\pi/4; 2\pi]$	10	

Imaginea de referință a fost deformată prin adăugarea unui zgomot uniform aditiv de intensitate progresivă de la 5% la 50%, cu un pas de 5%. Imaginile martor care au rezultat sunt prezentate în

figura 5.2. Ca imagini non-referință s-au ales din setul dat în figura 3.10 și redată în figura 5.3. Imaginile comune utilizate au dimensiunea de 512x512 de pixeli.

Procesul de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei, (FCHTC-preMFmA), a generat un volum de rezultate numerice foarte mare și a luat în considerare toate combinațiile parametrilor $dfPSLM$ și $dfPRE$ din tabelul 5.6 și pentru fiecare din combinațiile de zece imagini martor cu cele cinci imagini de tip non-referință. Acesta este motivul pentru care se vor prezenta sub formă grafică valorile CE_{Dxy} (figura 5.5) pentru combinațiile de parametri $dfPSLM$ cu setul I de parametri $dfPRE$ doar pentru imaginea cu codul F4 și imaginile martor cu zgomot aditiv între 5% și 100%. Autorul menționează că a generat, de fapt, pentru toate combinațiile descrise mai sus datele numerice cu zgomot aditiv între 5% și 100%, dar relevanță fizică au doar datele cu zgomotul aditiv între 5% și 50%, prezentate în figura 5.2.

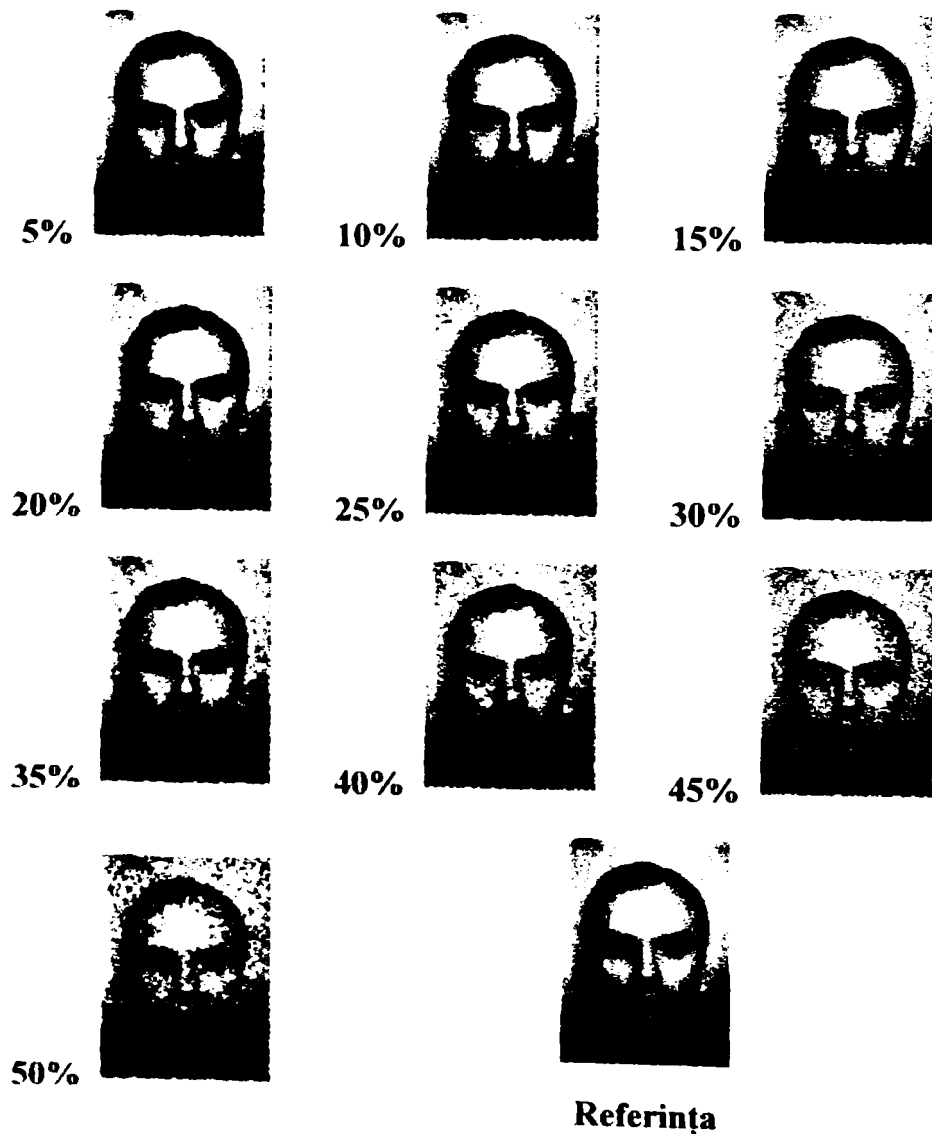


Fig. 5.2 Setul de imagini martor cu zgomot uniform aditiv (5-50%) și referința, utilizat pentru studiul performanțelor corelatorului hibrid (FCHTC-preMFmA)

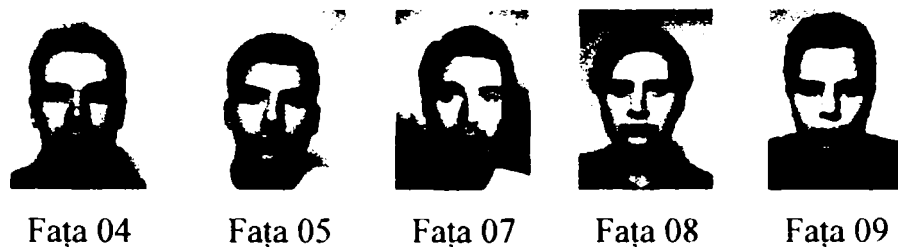


Fig. 5.3 Imaginile de tip non-referință cu codul dat în figura 3.10, pentru studiul performanțelor corelatorului hibrid (FCHTC-preMFmA).

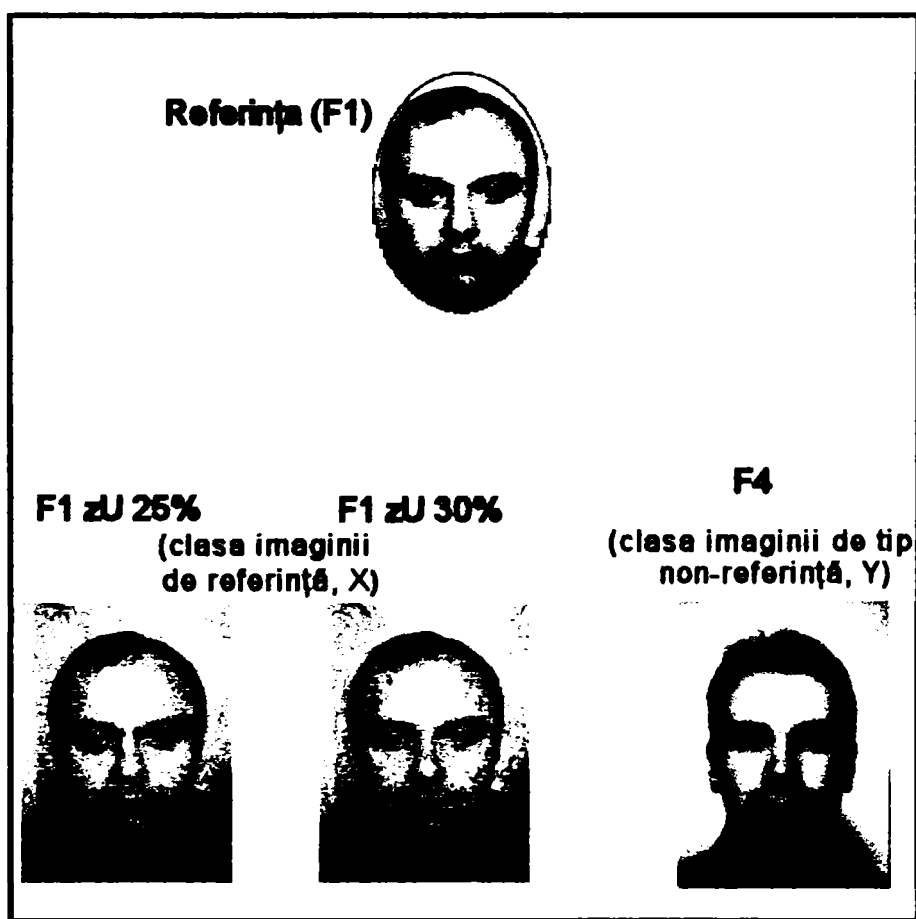
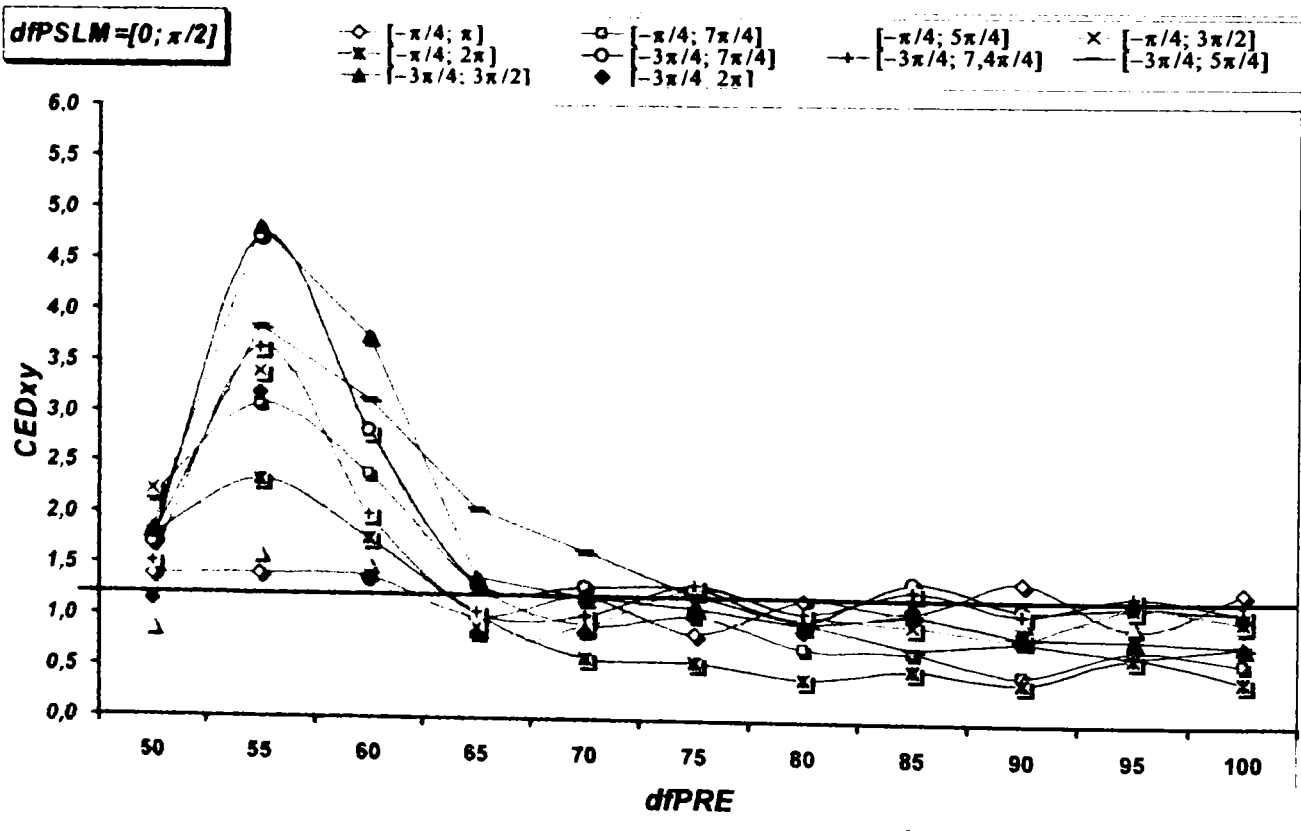
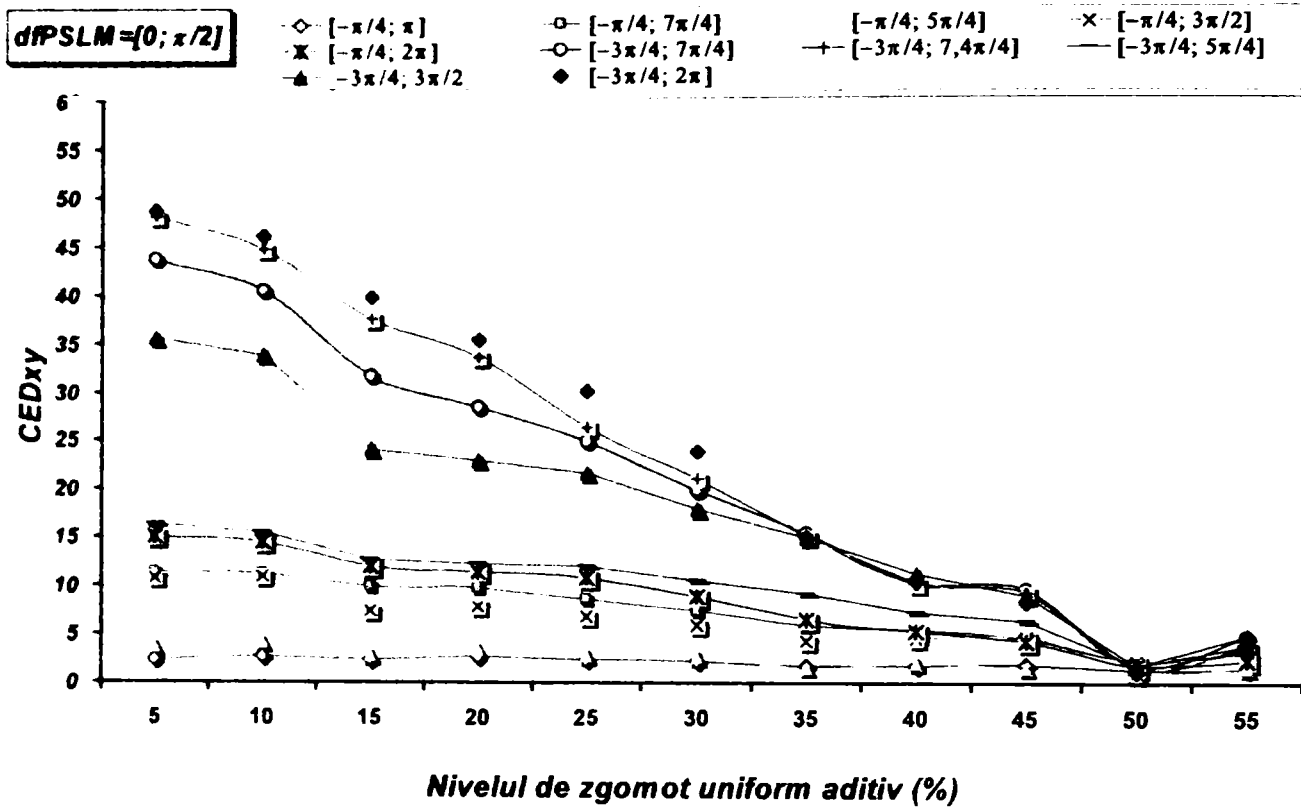
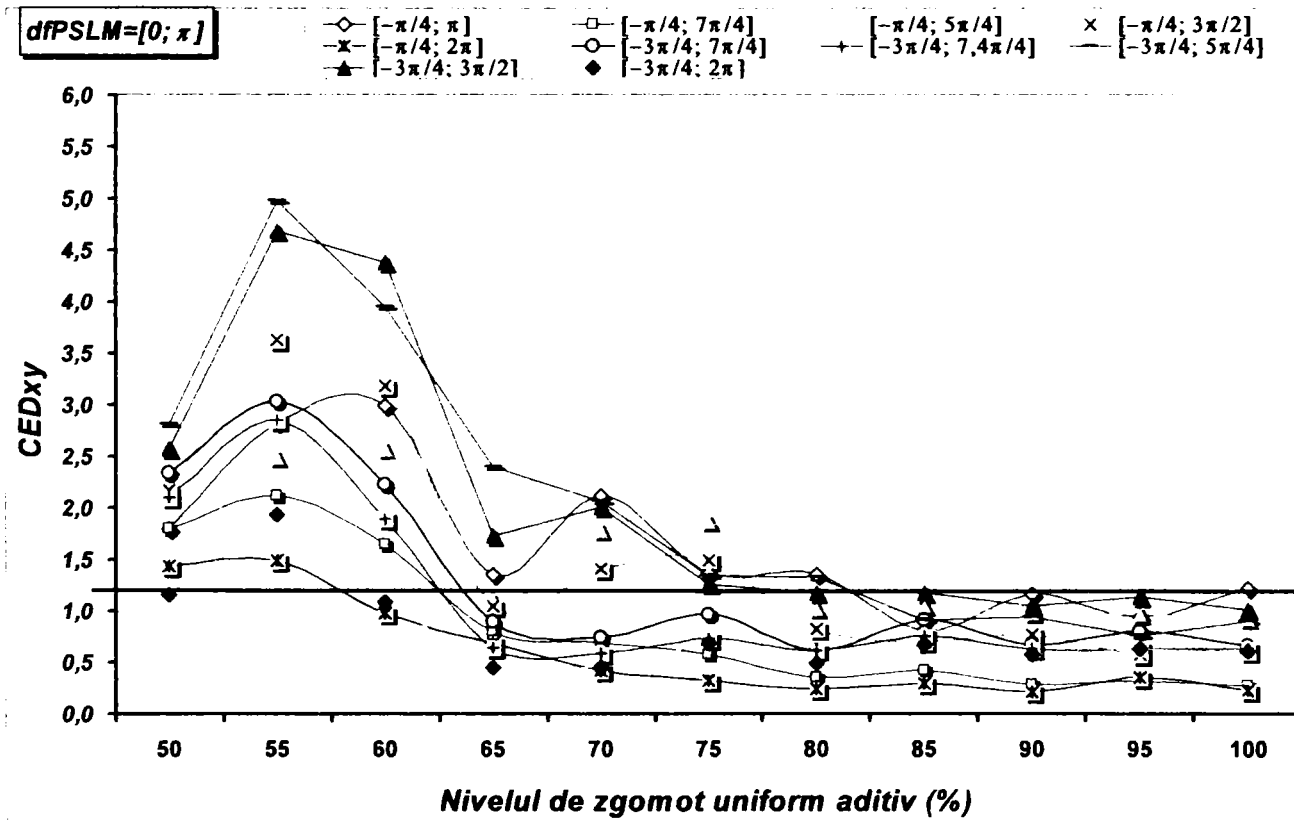
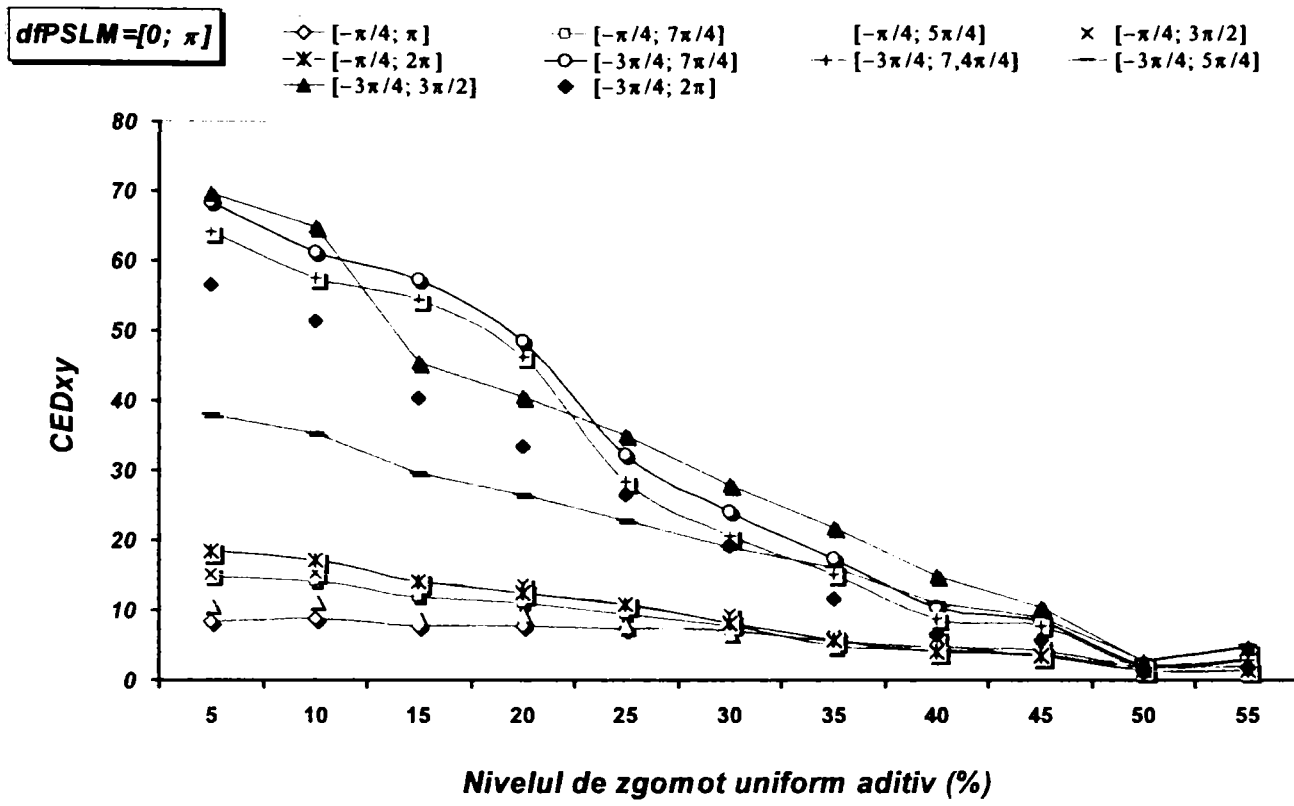
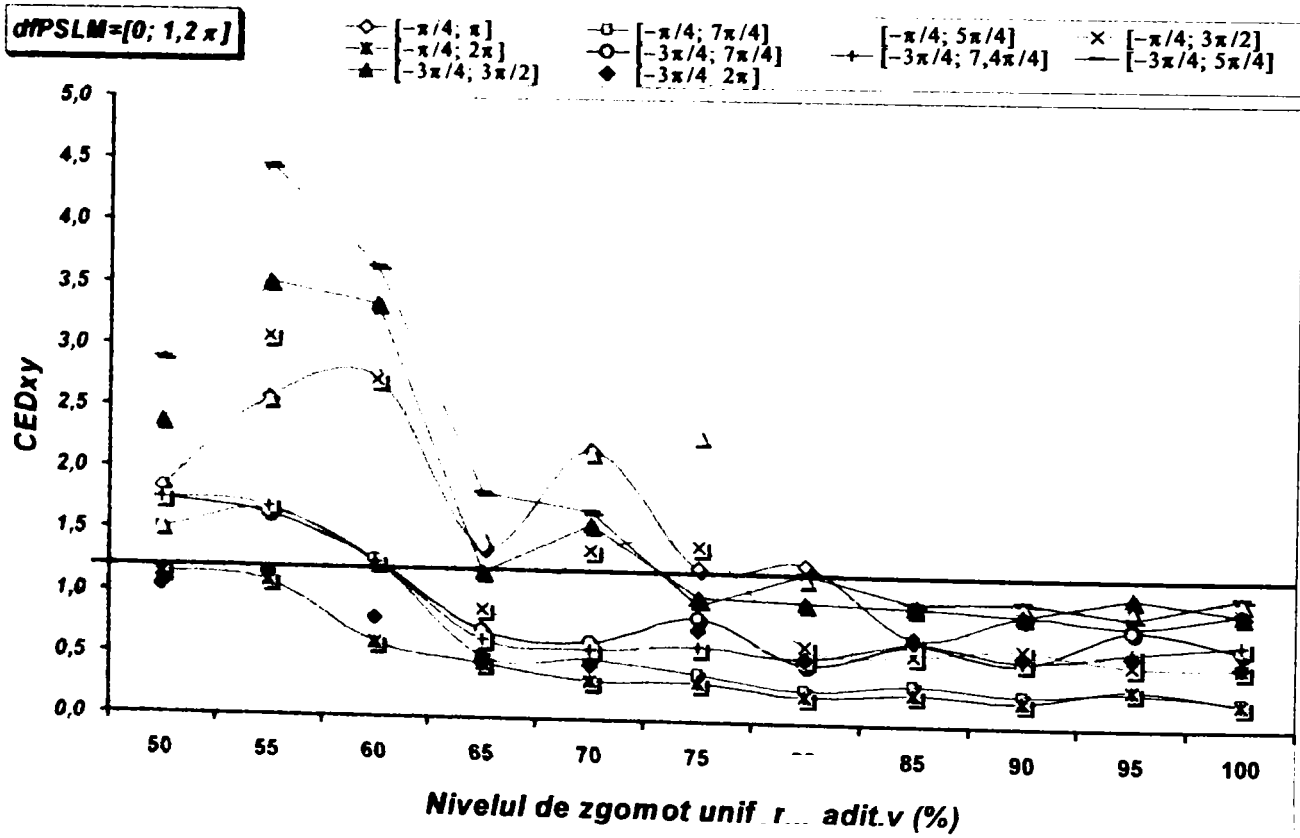
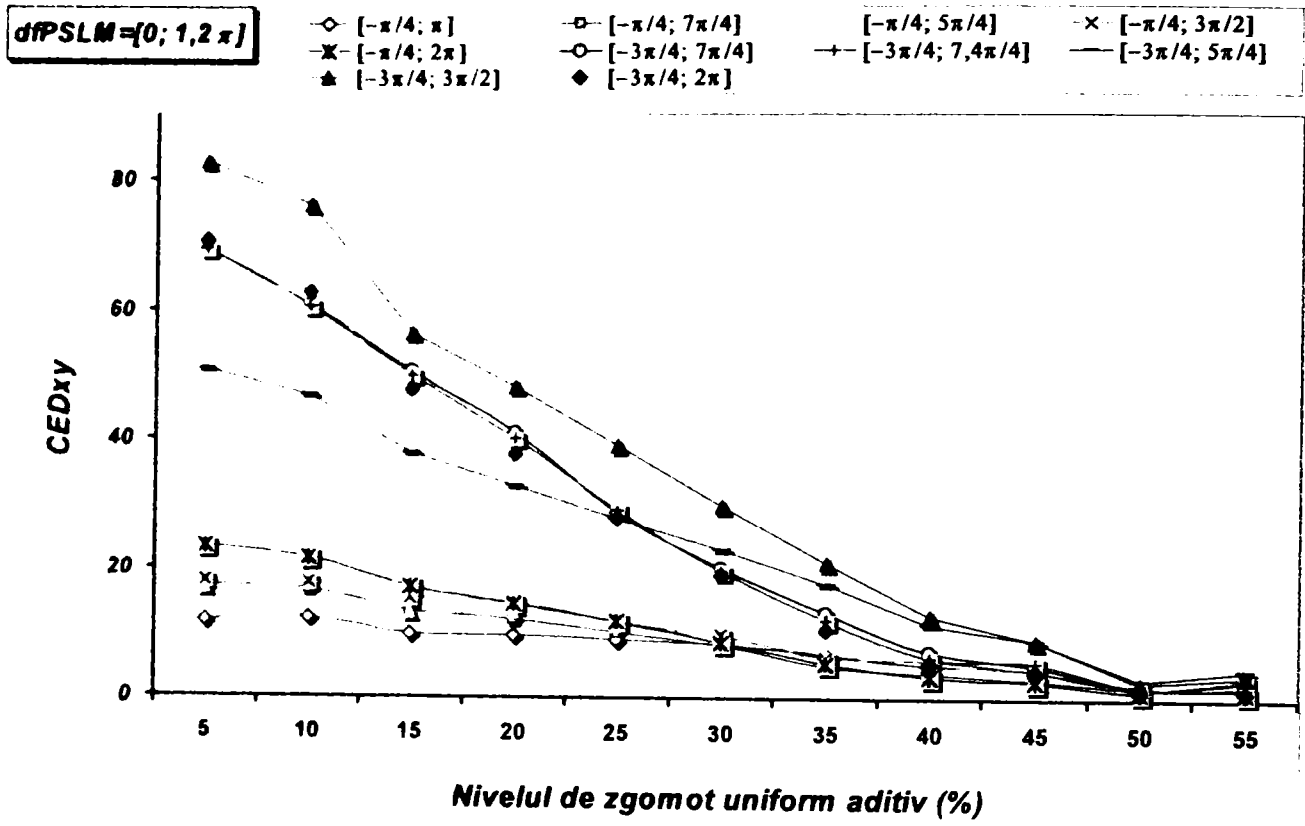
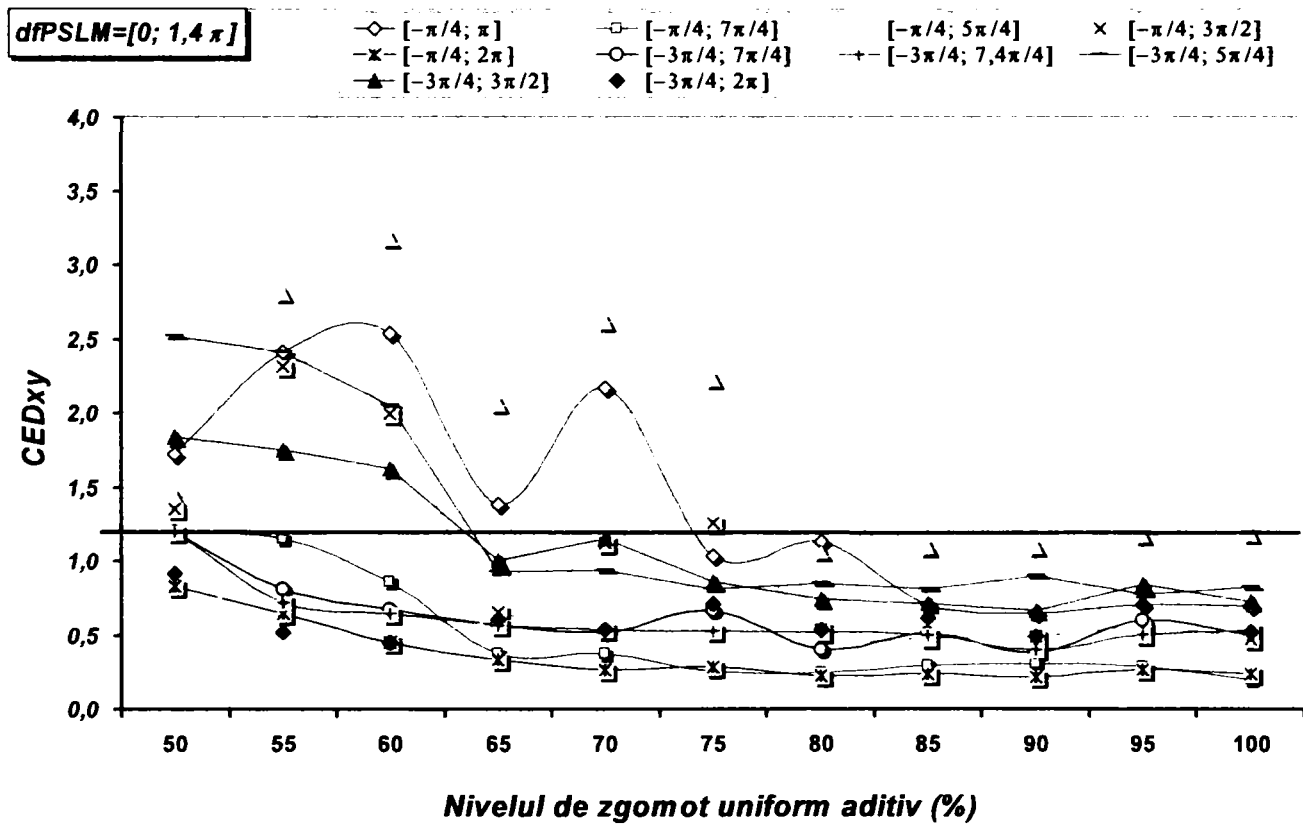
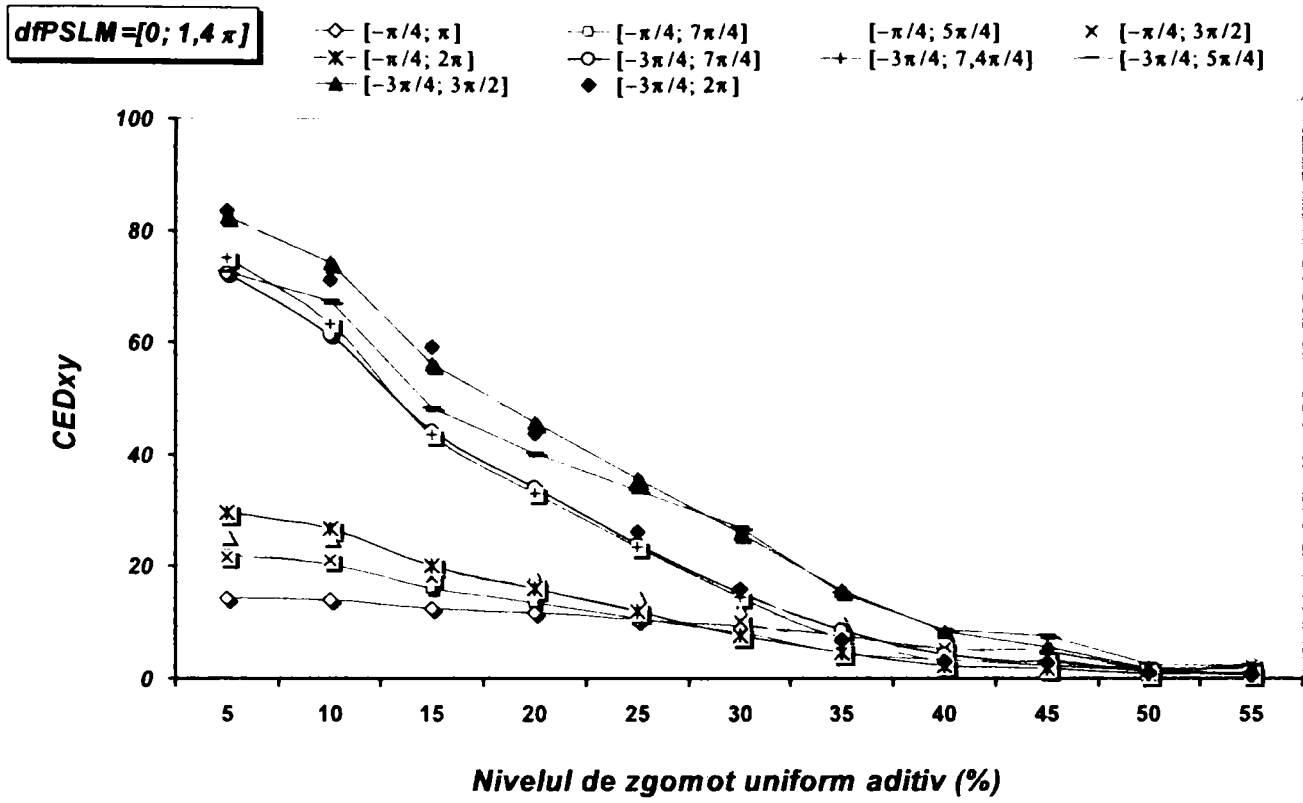


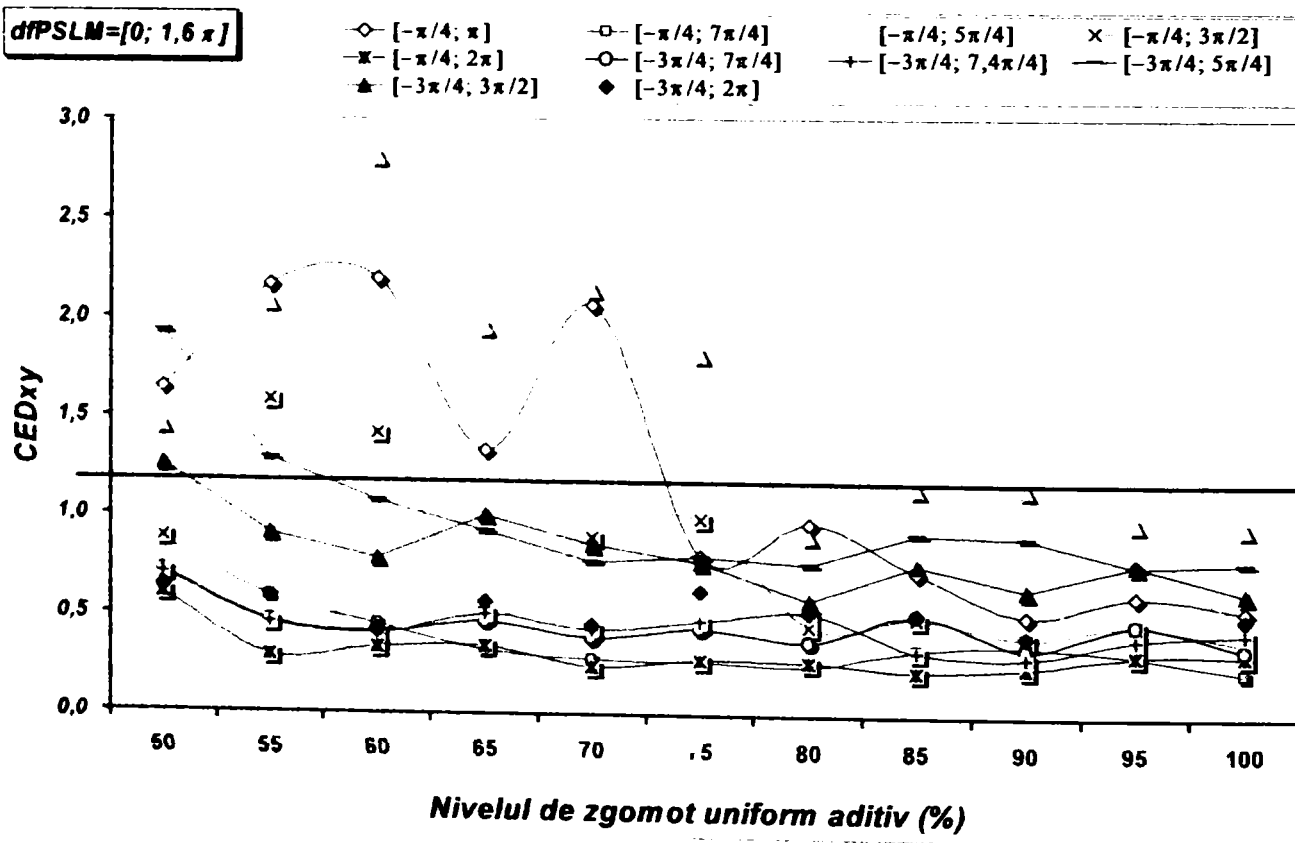
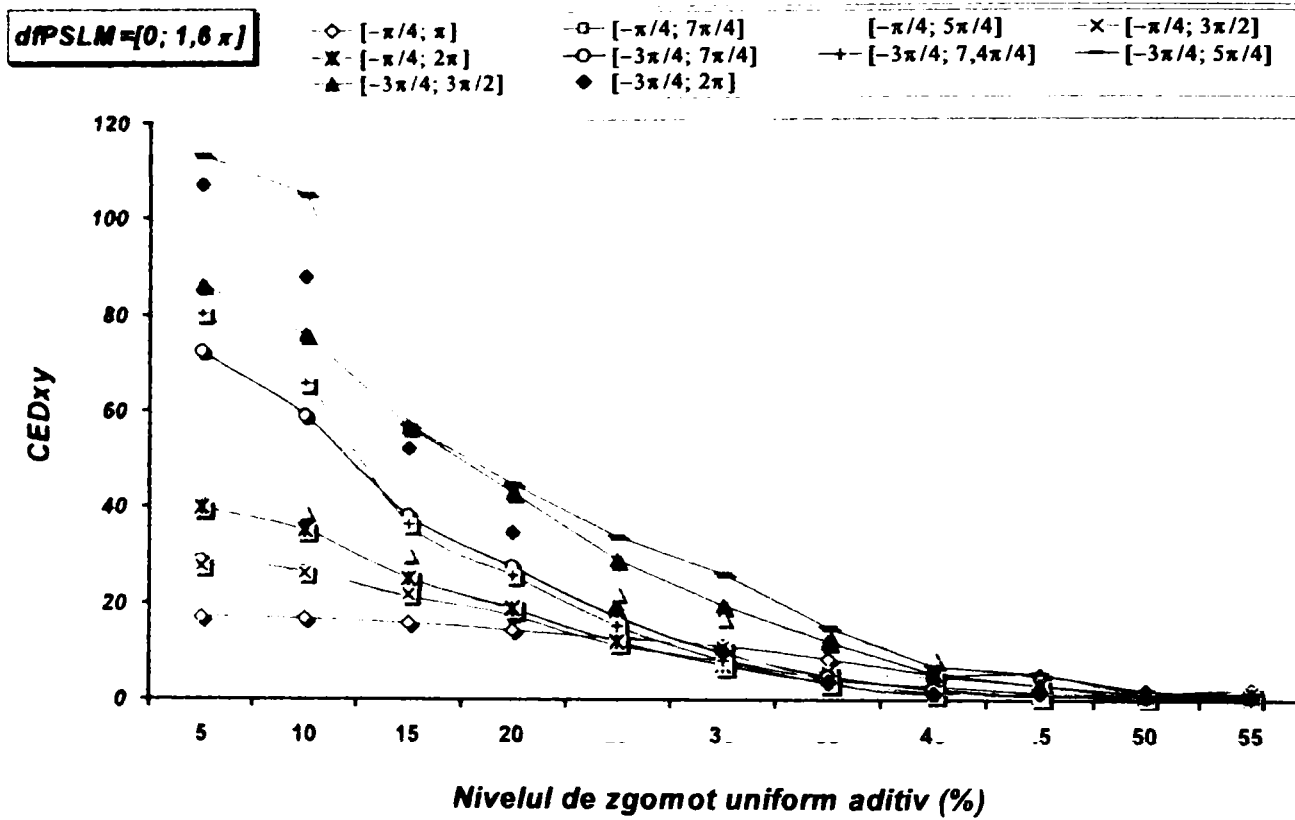
Fig. 5.4 Exemplu de imagine comună pentru studiul performanțelor corelatorului hibrid (FCHTC-preMFmA) în prezența zgomotului aditiv (de 25% și respectiv de 30%) cu imaginea de tip non-referință cu codul F4 din figura 5.3.











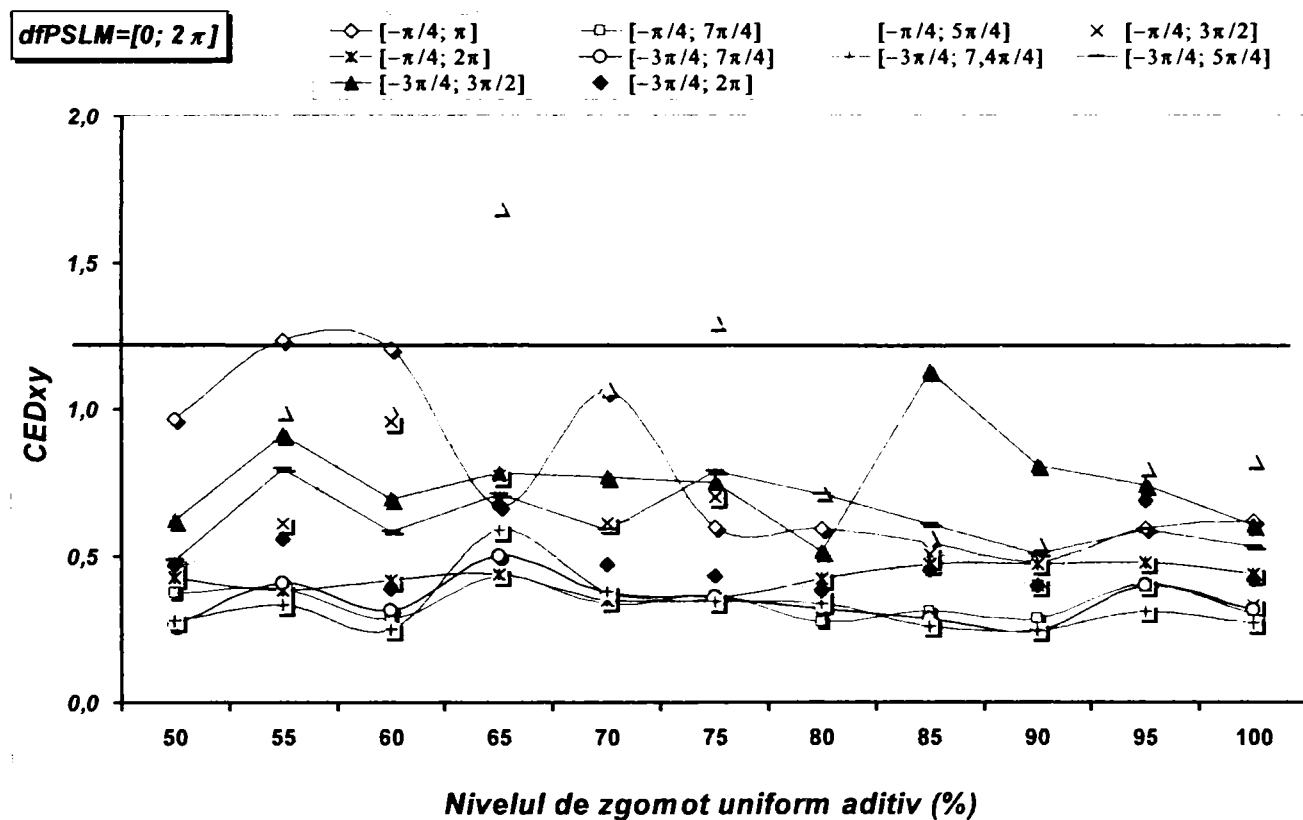
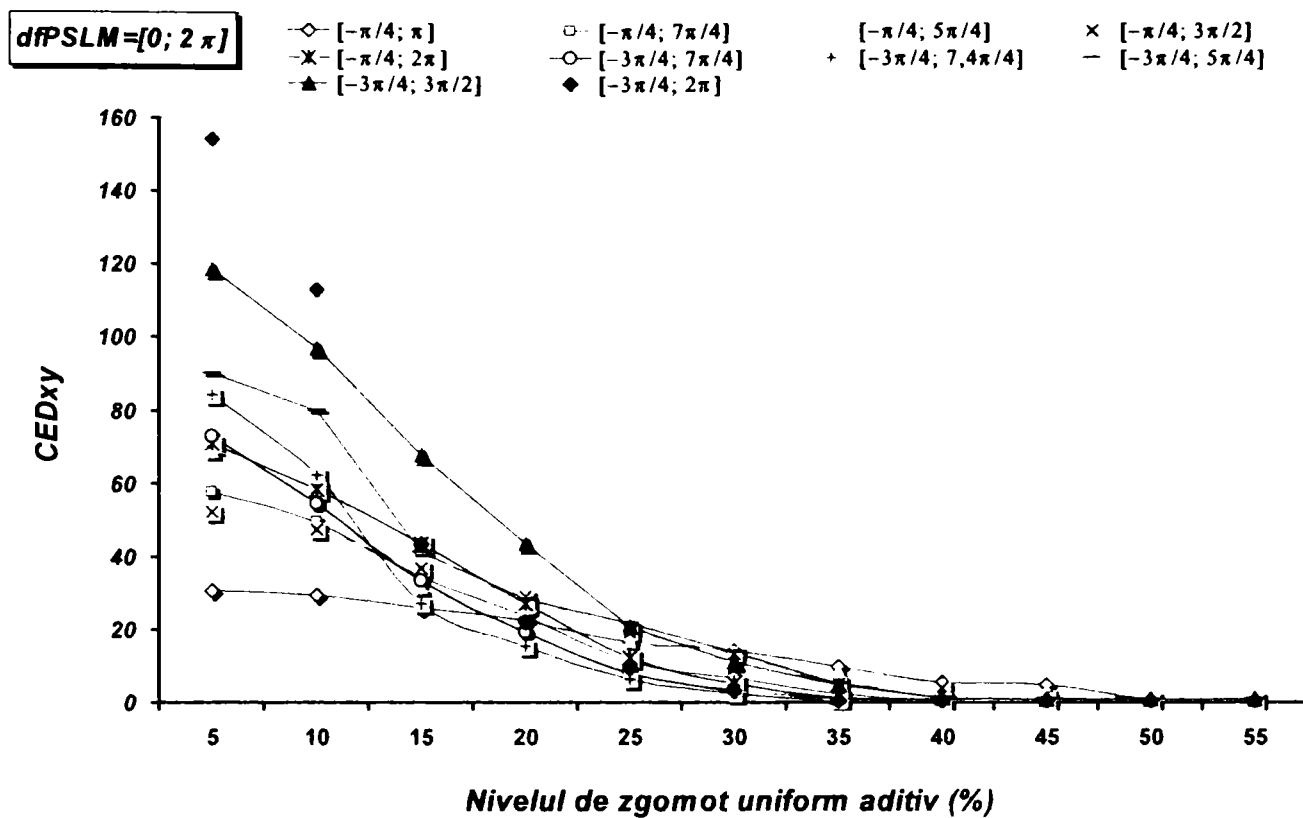


Fig. 5.5 Reprezentarea grafică a valorilor coeficientului CED_{xy} în funcție de nivelul de zgomot uniform aditiv pentru imaginea comună de intrare de tipul celei din figura 5.4. S-au reprezentat cazurile ce iau în considerare combinațiile de parametri $dfPSLM$ cu setul I de parametrii $dfPRE$ doar pentru imaginea cu codul F4 și imaginile martor cu zgomot aditiv între 5% și 100%. Linia roșie orizontală prezentă în unele grafice reprezintă valoarea de prag pentru coeficientul de eficiență la detecție ($CED_{prag} = 1,200$).

În continuare sunt prezentate prelucrările statistice ale datelor generate prin procesul de corelație în condițiile descrise mai sus pentru fiecare set de parametrii $dfPRE$ în parte.

Ierarhizarea parametrilor în acest subcapitol a luat în considerare simultan două mărimi (descrise în introducerea acestui capitol):

1. valoarea minimă a coeficientului de detecție, $CEd_{xy \text{ minim}}$, peste toate imaginile de intrare considerate pentru fiecare domeniu $dfPRE$ corespunzător domeniilor $dfPSLM$; cu cât valoarea minimă este mai mare cu atât performanțele parametrului – domeniul de premodulare, $dfPRE$ – sunt mai mari,
2. valoarea minimă a coeficientului de detecție intra-clasă, $icCED_{rx \text{ minim}}$, peste toate imaginile de intrare considerate pentru fiecare domeniu $dfPRE$ corespunzător domeniilor $dfPSLM$; cu cât valoarea acestui coeficient este mai mare cu atât performanțele parametrului – domeniul de premodulare, $dfPRE$ – sunt mai mari.

Tabelele 5.7, A.2.1 și A.2.2 sunt de aceeași formă (fapt pentru care tabelele de acest tip s-au prezentat în anexa 2) și conțin ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (pentru fiecare set) al domeniilor $dfPSLM$. Descrierea cantitativă, dar și intuitivă, completă necesită și redarea valorilor numerice pentru coeficientul de eficiență la detecție, intra-clasă $icCED_{ry \text{ maxim}}$, diferența $DifCED = icCED_{rx \text{ minim}} - icCED_{ry \text{ maxim}}$, și norma LpT calculată pentru toate valorile celor două mărimi ce realizează simultan ierarhizarea peste toate combinațiile parametrilor din tabel. Ierarhizarea parametrilor $dfPRE$ (din fiecare set) pentru fiecare parametru $dfPSLM$ în parte, se realizează în coloanele opt și nouă ale acestor tabele. Norma de tip Lp , notată cu LpT , ajută la determinarea celei mai performante combinații dintre parametrii $dfPRE$ (pentru fiecare set) și $dfPSLM$.

Tabelele 5.8, 5.9 și 5.10 au fost introduse pentru a determina dacă există un domeniu de premodulare $dfPRE$ (dintr-un anumit set) care în combinație cu oricare domeniu de fază $dfPSLM$ generează performanțe de recunoaștere de forme valide, adică valoarea minimă $CEd_{xy \text{ minim}} \geq CED_{\text{prag}}$ fapt marcat în coloana a treia.

Combinația simultană a parametrilor $dfPSLM = [0; 1, 2\pi]$ și $dfPRE = [-3\pi/4; 5\pi/4]$, cu valoarea maximă a normei $LpT = 10,003$, are valoarea maximă pentru $CEd_{xy \text{ minim}} = 2,885$, dar nu și valoarea maximă pentru $icCED_{rx \text{ minim}}$, este cea care are performanțele de recunoaștere de forme cele mai bune cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) (tabelul 5.7).

Din tabelul 5.8 se observă că nu există nici un domeniu de premodulare $dfPRE$ (din setul I) care în combinație cu oricare domeniu de fază $dfPSLM$ să genereze performanțe de recunoaștere de forme valide, adică valoarea minimă $CED_{xy} \text{ minim} \geq CED_{\text{prag}}$, fapt marcat în coloana a treia cu „X” pentru toate domeniile de premodulare a setului I.

Tabelul 5.7

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (din setul I) al domeniilor $dfPSLM$ – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.

$dfPSLM$	$dfPRE$	$icCED_{rx}$ <i>minim</i>	$icCED_{ry}$ <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> $icCED$	CED_{xy} <i>minim</i>	CED_{xy} <i>Ok</i>	L_p $p = 3$	Ierarhie L_p	$L_p T$ $p = 3$	Ierarhie $L_p T$
[0; $\pi/2$]	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,222	0,117	0,104	2,161	OK	10,129	1	7,533	5
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,142	0,091	0,051	1,779	OK	7,291	2	5,902	12
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,244	0,148	0,097	1,719	OK	7,171	3	6,180	9
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,120	0,076	0,044	1,745	OK	7,022	4	5,726	13
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	0,069	0,045	0,024	1,543	OK	5,533	5	4,896	21
	$[-\pi/4; \pi]$	0,601	0,643	-0,042	0,934	X	10,005	6	10,055	28
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,381	0,435	-0,054	0,876	X	6,184	7	6,428	29
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,047	0,043	0,005	1,110	X	2,401	8	3,239	36
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,039	0,037	0,001	1,030	X	1,821	9	2,930	38
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,026	0,034	-0,007	0,779	X	0,000	10	1,967	46
[0; π]	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,084	0,031	0,053	2,811	OK	10,128	1	9,726	2
	$[-\pi/4; \pi]$	0,210	0,195	0,014	1,293	OK	10,023	2	4,663	23
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,147	0,081	0,066	2,151	OK	8,299	3	7,286	7
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	0,046	0,022	0,025	2,259	OK	7,072	4	7,611	4
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,138	0,088	0,050	1,796	OK	6,976	5	5,954	11
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,041	0,022	0,019	2,213	OK	6,822	6	7,437	6
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,035	0,024	0,012	1,745	OK	4,326	7	5,651	14
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,086	0,069	0,017	1,432	OK	3,912	8	4,498	26
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,137	0,146	-0,009	1,055	X	6,184	9	3,380	32
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,020	0,025	-0,004	0,935	X	0,000	10	2,560	40
[0; $1,2\pi$]	$[-\pi/4; \pi]$	0,164	0,123	0,041	1,568	OK	10,165	1	5,222	20
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,064	0,023	0,042	2,885	OK	10,115	2	10,003	1
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,098	0,068	0,031	1,705	OK	6,335	3	5,538	17
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,099	0,076	0,023	1,509	OK	6,001	4	4,806	22
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	0,035	0,018	0,017	1,996	OK	5,764	5	6,608	8
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,033	0,019	0,014	1,742	OK	4,553	6	5,638	16
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,027	0,022	0,006	1,448	OK	3,136	7	4,516	24
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,093	0,096	-0,003	1,066	X	5,213	8	3,171	37
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,060	0,060	-0,001	1,143	X	3,126	9	3,375	33
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,015	0,022	-0,007	0,797	X	0,000	10	2,031	45
[0; $1,4\pi$]	$[-\pi/4; \pi]$	0,119	0,080	0,039	1,723	OK	10,695	1	5,641	15
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,041	0,019	0,022	2,444	OK	10,076	2	8,317	3
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	0,025	0,015	0,010	1,836	OK	6,702	3	5,996	10
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,060	0,055	0,005	1,316	OK	5,323	4	4,029	27
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,062	0,061	0,001	1,191	X	5,156	5	3,561	30
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,060	0,059	0,001	1,121	X	4,905	6	3,294	34

$dfPSLM$	$dfPRE$	$icCEDrx$	$icCEDry$	$Dif.$	$CEDxy$	$CEDxy$	Lp	Ierarhie	LpT	Ierarhie
		minim	maxim	$icCED$	minim	Ok	$p = 3$	Lp	$p = 3$	LpT
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,024	0,021	0,003	1,194	X	3,247	7	3,548	31
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,019	0,020	-0,001	1,120	X	2,798	8	3,263	35
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,036	0,050	-0,014	0,829	X	2,435	9	2,166	44
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,010	0,020	-0,010	0,610	X	0,000	10	1,319	49
[0, 1,6 π]	$[-\pi/4; \pi]$	0,080	0,062	0,017	1,643	OK	12,459	1	5,284	19
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,025	0,018	0,006	1,672	OK	10,056	2	5,370	18
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,042	0,036	0,006	1,443	OK	8,768	3	4,500	25
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	0,016	0,016	0,000	1,031	X	5,022	4	2,923	39
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,032	0,044	-0,012	0,886	X	4,693	5	2,377	42
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,033	0,048	-0,015	0,861	X	4,637	6	2,283	43
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,014	0,022	-0,007	0,712	X	2,570	7	1,706	47
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,011	0,019	-0,008	0,702	X	2,437	8	1,669	48
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,018	0,038	-0,019	0,600	X	2,083	9	1,283	50
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,006	0,019	-0,013	0,393	X	0,000	10	0,489	54
[0, 2 π]	$[-\pi/4; \pi]$	0,026	0,034	-0,008	0,931	X	12,599	1	2,544	41
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,015	0,041	-0,026	0,425	X	5,289	2	0,620	52
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,011	0,026	-0,015	0,454	X	3,724	3	0,723	51
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,004	0,011	-0,007	0,401	X	2,043	4	0,519	53
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,005	0,016	-0,011	0,393	X	1,937	5	0,488	55
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,006	0,024	-0,017	0,371	X	1,793	6	0,406	56
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,007	0,022	-0,015	0,363	X	1,743	7	0,375	57
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	0,005	0,017	-0,012	0,362	X	1,494	8	0,370	58
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,005	0,020	-0,015	0,265	X	0,344	9	0,013	60
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,004	0,016	-0,012	0,273	X	0,119	10	0,030	59

Tabelul 5.8

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (din *setul I*) peste toate domeniile $dfPSLM$ – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.

$dfPSLM$	$dfPRE$	$CEDxy$	Suma	Ierarhie
		Ok	LpT	LpT
[0; $\pi/2$]	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	X	39,517	1
[0; π]	$[-\pi/4; \pi]$	X	33,409	2
[0; 1,2 π]	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	X	28,404	3
[0; 1,4 π]	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	X	26,132	4
[0; 1,6 π]	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	X	24,543	5
[0; 2 π]	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	X	21,581	6
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	X	21,393	7
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	X	18,059	8
	$[-\pi/4; 2\pi]$	X	17,712	9
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	X	8,885	10

Combinăția simultană a parametrilor $dfPSLM = [0; \pi/2]$ și $dfPRE = [\pi/4; 5\pi/4]$, care are valoarea maximă a normei $LpT = 10,003$, valoarea maximă pentru $CEDxy_{\min} = 5,920$, dar nu și

valoarea maximă pentru $icCEDrx_{\min}$, este cea care are performanțele de recunoaștere de forme cele mai bune cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) (tabelul A.2.1).

Din tabelul 5.9 se observă că, spre deosebire de setul *I*, pentru setul *II* sunt patru domenii de premodulare $dfPRE$ care în combinație cu oricare domeniu de fază $dfPSLM$ generează performanțe de recunoaștere de forme valide, adică valoarea minimă $CEDxy_{\min} \geq CED_{\text{prag}}$, fapt marcat în coloana a treia cu „OK” pentru toate domeniile de premodulare a setului *I*. Cele patru domenii de premodulare robuste la zgomot uniform aditiv în combinație cu orice domeniu de fază $dfPSLM$ sunt: $[3\pi/4; 5\pi/4]$, $[3\pi/4; 3\pi/2]$, $[\pi/4; 5\pi/4]$, $[3\pi/4; 7\pi/4]$.

Tabelul 5.9

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (din setul *II*) peste toate domeniile $dfPSLM$ – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.

$dfPSLM$	$dfPRE$	$CEDxy_{Ok}$	Suma LpT	Ierarhie LpT
$[0; \pi/2]$	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	OK	45,680	1
$[0; \pi]$	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	OK	41,453	2
$[0; 1,2\pi]$	$[\pi/4; 5\pi/4]$	OK	34,665	3
$[0; 1,4\pi]$	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	OK	31,934	4
$[0; 1,6\pi]$	$[\pi/4; 3\pi/2]$	X	39,306	5
$[0; 2\pi]$	$[\pi/4; 7\pi/4]$	X	32,645	6
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	X	24,576	7
	$[\pi/4; 2\pi]$	X	23,902	8
	$[\pi/4; \pi]$	X	23,330	9
	$[3\pi/4; 2\pi]$	X	16,395	10

Combinăția simultană a parametrilor $dfPSLM = [0; \pi/2]$ și $dfPRE = [-3\pi/4; 3\pi/4]$, care are valoarea maximă a normei $LpT = 10,255$, valoarea maximă pentru $CEDxy_{\min} = 5,680$, dar nu și valoarea maximă pentru $icCEDrx_{\min}$, este cea care are performanțele de recunoaștere de forme cele mai bune cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) (tabelul A.2.2).

Din tabelul 5.10 se remarcă faptul că pentru setul *III* sunt trei domenii de premodulare $dfPRE$ care în combinație cu oricare domeniu de fază $dfPSLM$ generează performanțe de recunoaștere de forme valide, adică valoarea minimă $CEDxy_{\min} \geq CED_{\text{prag}}$, fapt marcat în coloana a treia cu „OK” pentru toate domeniile de premodulare a setului *I*. Cele trei domenii de premodulare robuste la zgomot uniform aditiv în combinație cu orice domeniu de fază $dfPSLM$ sunt: $[-\pi/4; \pi/4]$, $[0; \pi/2]$, $[-\pi/2; \pi/2]$.

Tabelul 5.10

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (din *setul III*) peste toate domeniile $dfPSLM$ – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.

$dfPSLM$	$dfPRE$	CED_{xy} Ok	Suma LpT	Ierarhie LpT
$[0; \pi/2]$	$[-\pi/4; \pi/4]$	OK	47,154	1
$[0; \pi]$	$[0; \pi/2]$	OK	41,993	2
$[0; 1,2\pi]$	$[-\pi/2; \pi/2]$	OK	41,739	3
$[0; 1,4\pi]$	$[-3\pi/4; 3\pi/4]$	X	36,490	4
$[0; 1,6\pi]$	$[-\pi; \pi]$	X	21,158	5
$[0; 2\pi]$	$[0; 2\pi]$	X	21,154	6
	$[0; 3\pi/2]$	X	17,554	7
	$[0; \pi]$	X	16,860	8

Rezultatele prezentate anterior relevă faptul că setul de domenii de premodulare care generează performanțele cele mai bune de recunoaștere de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) este setul *II*, cu combinația de parametri $dfPSLM = [0; \pi/2]$ și $dfPRE = [\pi/4; 5\pi/4]$. Această combinație de parametri are valoarea maximă a coeficientului de eficiență la detecție, $CED_{xy \text{ minim}} = 5,920$, dintre toate combinațiile de parametri din tabelele 5.8, 5.10 și respectiv 5.12. Se mai poate observa că pentru setul *III*, combinația de parametri $dfPSLM = [0; \pi/2]$ și $dfPRE = [-3\pi/4; 3\pi/4]$ are valoarea $CED_{xy \text{ minim}} = 5,680$, foarte apropiată de cea maximă.


































Observațiile de mai sus denotă faptul că seturile *I, II, III*, de domenii de premodulare $dfPRE$, în combinație cu domeniile de fază $dfPSLM$, prezentate în tabelul 5.6, realizează din corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA) – propus de autor – un model de corelator robust la zgomotul uniform aditiv între limitele 5% și 50%. Această performanță a acestui model de corelator este cu atât mai valoroasă cu cât în literatura de specialitate se afirmă că în mod normal corelatoarele în domeniul fazei nu sunt robuste la zgomot ambiental sau aditiv [32,83,89].
















5.4 Evaluarea performanțelor corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA) la iluminarea laterală

În acest subcapitol pentru studiul performanțelor corelatorului hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) s-au considerat ca imagini componente ale imaginilor comune de intrare fețe umane cu iluminări laterale cu sursa de lumină rotită azimutal la unghiurile: 0 grade (iluminare frontală), 45 de grade și 90 de grade, ambele spre dreapta imaginilor (tabelul 5.11).

Tabelul 5.11

Setul de imagini reprezentând fețe umane având iluminări laterale diferite (imagini realizate de *Vision and Modeling Group at the MIT Media Lab.*, 15.10.1989, la dimensiunea de 120x128 de pixeli în 256 de niveluri de intensitate de gri).

Index clasă	Iluminare frontală	Iluminare laterală la 45°	Iluminare laterală la 90°
F1 (clasa referinței)	 (referința)		
F2			
F3			
F4			
F5			
F6			
F7			
F8			
F9			
F10			
F11			

Index clasă	Iluminare frontală	Iluminare laterală la 45°	Iluminare laterală la 90°
F12			
F13			
F14			
F15			
F16			

Pentru o evaluare completă a performanțelor corelatorului (FCHTC-preMFmA) în prezența iluminării laterale s-au considerat două seturi de domenii de premodulare $dfPRE$ (tabelul 5.12) și s-au păstrat domeniile de fază $dfPLSM$ din tabelul 5.1.

Tabelul 5.12

Setul de domenii de fază, $dfPLSM$, și de premodulare, $dfPRE$ alese pentru studiul performanțelor de recunoaștere de forme cu corelatorul (FCHTC-preMFmA) la iluminarea laterală.

$dfPSLM$		Setul I $dfPRE$		Setul II $dfPRE$	
a	$[0; \pi/2]$	1	$[-\pi/4; \pi]$	1	$[\pi/4; \pi]$
b	$[0; \pi]$	2	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	2	$[\pi/4; 5\pi/4]$
c	$[0; 1,2\pi]$	3	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	3	$[\pi/4; 3\pi/2]$
d	$[0; 1,4\pi]$	4	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	4	$[\pi/4; 7\pi/4]$
e	$[0; 1,6\pi]$	5	$[-\pi/4; 2\pi]$	5	$[\pi/4; 2\pi]$
f	$[0; 2\pi]$	6	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	6	$[3\pi/4; 5\pi/4]$
		7	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	7	$[3\pi/4; 3\pi/2]$
		8	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	8	$[3\pi/4; 7\pi/4]$
		9	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	9	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$
		10	$[-3\pi/4; 2\pi]$	10	$[3\pi/4; 2\pi]$

Imaginile comune de intrare utilizate în procesul de corelație au dimensiunile de 512x512 pixeli, precum se poate observa în figura 5.6 a, b, c. Aceste imagini conțin, în mod constant, în imaginea scenei cele două imagini martor derivate din imaginea de referință prin iluminare laterală (cu codul FI_{45} și respectiv FI_{90}). Imaginile martor se vor combina cu câte o imagine de tip non-referință cu codul Fy_{00} (cu iluminare frontală), Fy_{45} (cu iluminare laterală de la 45°), Fy_{90} (cu iluminare laterală de la 90°). Se generează astfel trei seturi de imagini comune de intrare prezentate în figura 5.6 a, b și respectiv c.

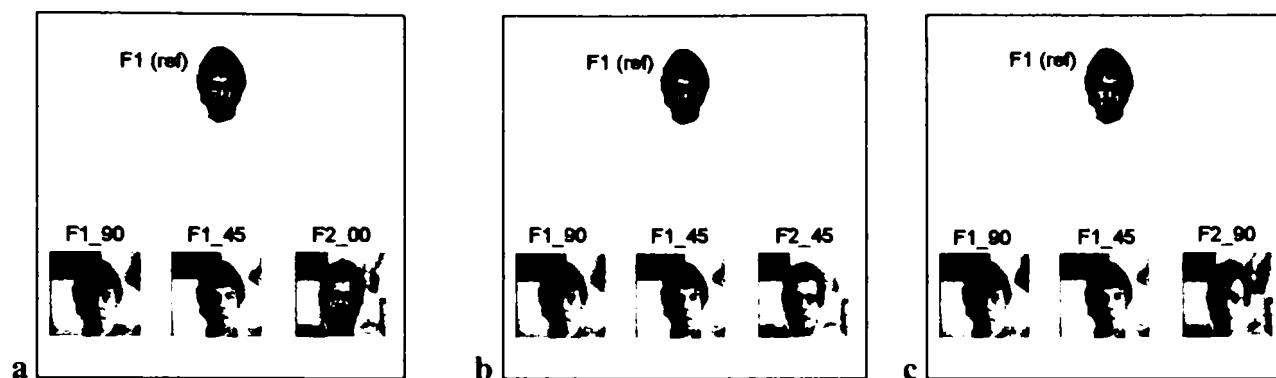


Fig. 5.6 Imaginile comune de intrare utilizate la evaluarea performanțelor de recunoaștere de forme la iluminarea laterală (cu codurile pentru fiecare componentă):

- a - pentru corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) având o imagine de tip non-referință iluminată frontal,
- b - pentru corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) având o imagine de tip non-referință iluminată lateral-dreapta de la 45° față de poziția frontală,
- c - pentru corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) având o imagine de tip non-referință iluminată lateral-dreapta de la 90° față de poziția frontală.

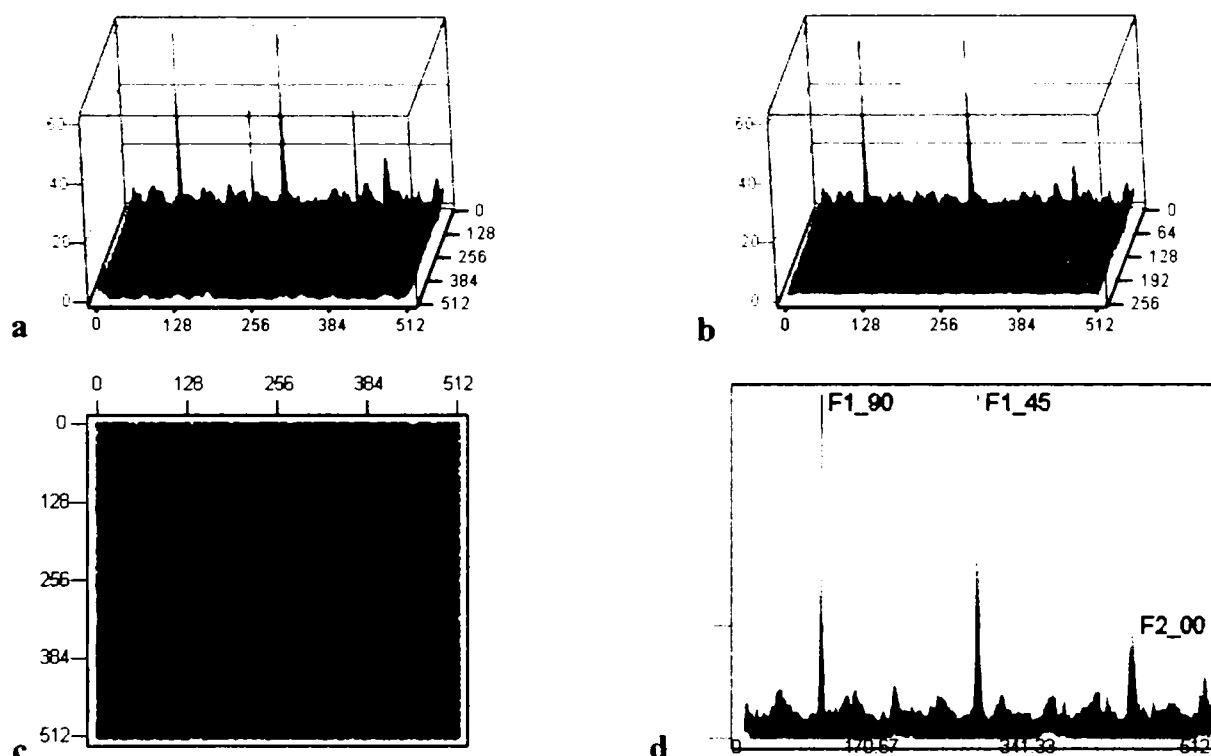


Fig. 5.7 Rezultate ale procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru imaginea comună de intrare din figura 5.6 a și $dfPRE = [\pi/4; 2\pi]$, $dfPSLM = [0; \pi]$:

- a – Reprezentarea 3D a imaginii din planul de ieșire a corelatorului – se pot observa cele două linii de corelație;
- b – Reprezentarea 3D a unei linii de corelație;
- c – Imaginea din planul de ieșire a corelatorului așa cum este capturată cu o cameră CCD
- d – Reprezentarea 2D a unei linii de corelație pentru măsurarea intensităților maximelor de corelație și interpretarea rezultatelor (maximele de corelație sunt marcate corespunzător figurii 5.6).

În figurile 5.7 a, b, c și 5.8, ca și în tabelul 5.14 sunt redată grafic și numeric exemple de rezultate ale procesului de corelație. Volumul foarte mare de date numerice ce alcătuiesc rezultatele procesului de corelație a impus limitarea prezentării acestora doar la aceste exemple. Concluziile

asupra evaluării performanțelor de recunoaștere de forme pentru studiul din acest capitol se vor putea urmări din tabelele 5.16 -5.27.

Tabelul 5.13

Exemplu de rezultate numerice (coeficientul CED_{xy}) ale simulării pe calculator a procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru imaginea de intrare din figura 5.6 a și parametrii din primele două coloane.

$dfPSLM$	$dfPRE$	F1_45	F2_00	F3_00	F4_00	F5_00	F6_00	F7_00	F8_00	F9_00	F10_00	F11_00	F12_00	F13_00	F14_00	F15_00	F16_00
[0; $\pi/2$]	$[\pi/4; \pi]$	0.693	5.007	2.696	3.889	4.075	2.546	2.474	2.185	3.169	3.625	2.549	4.104	3.405	2.208	3.699	3.083
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	0.632	2.235	2.047	2.371	2.424	1.758	1.709	1.560	2.011	2.509	1.751	2.372	1.830	1.919	2.160	1.959
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	0.465	2.792	2.408	3.056	2.209	3.013	1.920	2.973	2.473	2.572	2.337	2.506	2.230	2.491	2.357	2.082
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0.338	3.812	3.131	3.518	3.194	4.252	2.283	3.382	2.906	3.398	3.296	3.517	3.864	3.481	3.393	2.884
	$[\pi/4; 2\pi]$	0.258	3.571	4.207	2.858	3.847	4.848	3.258	3.240	2.503	4.388	4.788	3.942	4.634	4.451	4.135	3.752
	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	0.741	0.894	0.889	0.909	0.922	0.894	0.735	0.822	1.025	0.982	0.848	1.068	0.980	0.931	1.020	0.760
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0.507	0.905	0.909	0.900	1.072	0.970	0.828	0.834	1.019	1.000	0.961	1.088	0.990	0.986	1.060	0.876
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	0.441	1.173	1.242	1.184	1.439	1.327	1.153	1.167	1.312	1.289	1.308	1.480	1.355	1.344	1.393	1.174
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0.414	1.333	1.425	1.341	1.599	1.529	1.324	1.361	1.501	1.453	1.508	1.721	1.498	1.546	1.546	1.317
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0.384	1.817	1.984	1.827	2.073	2.033	1.791	1.924	1.978	1.936	1.980	2.283	1.896	2.068	2.002	1.693

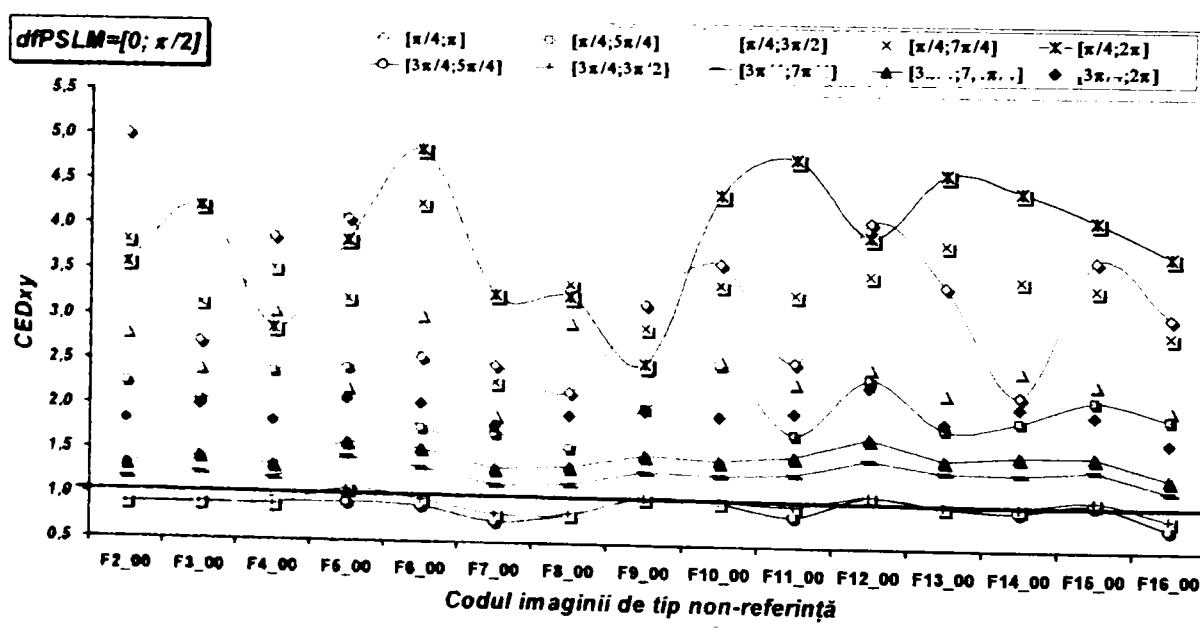


Fig. 5.8 Exemplu de reprezentare grafică a performanțelor (coeficientul CED_{xy}) procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru imaginea de intrare de tipul celei din figura 5.6 a.

Rezultatele numerice au fost generate pentru toate combinațiile dintre domeniile de premodulare, $dfPRE$, din cele două seturi și domeniile de fază, $dfPLSM$ separat pentru imaginile martor cu iluminare laterală de la 45° ($F1_{45}$) și cu iluminare laterală de la 90° ($F1_{90}$). Prelucrările statistice ale rezultatelor separate sunt date în anexa 2 sub forma de tabele de tipul celor prezentate în subcapitolul anterior (5.7 și respectiv 5.9, 5.10, 5.11) cu semnificația mărimilor fizice păstrată și aici.

Scopul evaluării performanțelor de recunoaștere de forme pentru orice model de corelator este acela de a vedea dacă acest corelator este robust în procesul de detecție atunci când imaginile martor (derivate din imaginea de referință prin anumite deformări) din imaginea scenei sunt detectate ca fiind

componente ale clasei de referință și nu ale altor clase. Pentru a putea da un verdict cât mai general cu privire la robustețea corelatorului hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) la iluminarea laterală diferită, trebuie ierarhizate statistic simultan rezultatele pentru toate cazurile de iluminări diferite prezente atât în imaginea de referință cât și în cele de tip non-referință.

Subcapitolul de față propune două tipuri de iluminare laterală (prezentate anterior). Tabelele cu prelucrarea statistică pentru ierarhizarea performanțelor de recunoaștere de forme vor conține, prin urmare, o normă L_p și L_pT calculată *simultan* pentru imaginile martor $F1_{45}$ și $F1_{90}$, cu imagine non-referință iluminată lateral (de tip Fy_{00} , Fy_{45} , Fy_{90} – a se vedea figura 5.6), pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (din *setul I* și *setul II*) în combinație cu toate domeniile $dfPSLM$. Organizarea tabelelor se face în consecință după tipul de imagine non-referință Fy (tabelul 5.13) prezentă în imaginea comună de intrare.

Rezultatele generate pentru cazurile ce conțin în imaginea de intrare o imagine non-referință de tipul Fy_{00} sunt prezentate în tabelul A.2.3 – referitor la *setul I* de domenii de premodulare, $dfPRE$ – și în tabelul A.2.4 – referitor la *setul II* de domenii de premodulare, $dfPRE$.

Combi-nația parametrilor $dfPSLM = [0; \pi]$ și $dfPRE = [-\pi/4; \pi]$, din *setul I*, este cea care are performanțele de recunoaștere de forme cele mai bune cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) asigurând o valoare maximă pentru coeficientul de eficiență la detecție $CED_{xy \text{ minim}} = 2,853$ și a doua valoare pentru coeficientul de eficiență la detecție intra-clasă $icCED_{rx \text{ minim}} = 0,283$ (tabelul A.2.3).

Combi-nația parametrilor $dfPSLM = [0; \pi]$ și $dfPRE = [\pi/4; \pi]$, din *setul II*, este cea care are performanțele de recunoaștere de forme cele mai bune cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) asigurând o valoare maximă pentru coeficientul de eficiență la detecție $CED_{xy \text{ minim}} = 4,867$ și a doua valoare pentru coeficientul de eficiență la detecție intra-clasă $icCED_{rx \text{ minim}} = 0,689$ (tabelul A.2.4).

Rezultatele generate pentru cazurile ce conțin în imaginea de intrare o imagine non-referință de tipul Fy_{45} sunt prezentate în tabelul A.2.5 – referitor la *setul I* de domenii de premodulare, $dfPRE$ – și tabelul A.2.6 – referitor la *setul II* de domenii de premodulare, $dfPRE$.

Combi-nația parametrilor $dfPSLM = [0; 1,6\pi]$ și $dfPRE = [-\pi/4; \pi]$, din *setul I*, este cea care are performanțele de recunoaștere de forme cele mai bune cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) asigurând o valoare maximă pentru coeficientul de eficiență la detecție $CED_{xy \text{ minim}} = 4,492$ și o valoare pentru coeficientul de eficiență la detecție intra-clasă $icCED_{rx \text{ minim}} = 0,991$ (tabelul A.2.5).

Combinăția parametrilor $dfPSLM = [0; \pi]$ și $dfPRE = [\pi/4; \pi]$, din **setul II**, este cea care are performanțele de recunoaștere de forme cele mai bune cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) asigurând o valoare maximă pentru coeficientul de eficiență la detecție $CEd_{xy \text{ minim}} = 5,728$ și o valoare pentru coeficientul de eficiență la detecție intra-clasă $icCEd_{rx \text{ minim}} = 1,019$ (tabelul A.2.6).

Rezultatele generate pentru cazurile ce conțin în imaginea de intrare o imagine non-referință de tipul F_{y_90} sunt prezentate în tabelul A.2.7 – referitor la **setul I** de domenii de premodulare, $dfPRE$ – și tabelul A.2.8 – referitor la **setul II** de domenii de premodulare, $dfPRE$.

Combinăția parametrilor $dfPSLM = [0; 1,4\pi]$ și $dfPRE = [-3\pi/4; 5\pi/4]$, din **setul I**, este cea care are performanțele de recunoaștere de forme cele mai bune cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) asigurând o valoare maximă pentru coeficientul de eficiență la detecție $CEd_{xy \text{ minim}} = 4,685$ și o valoare pentru coeficientul de eficiență la detecție intra-clasă $icCEd_{rx \text{ minim}} = 1,021$ (tabelul A.2.7).

Combinăția parametrilor $dfPSLM = [0; 2\pi]$ și $dfPRE = [3\pi/4; 5\pi/4]$, din **setul II**, este cea care are performanțele de recunoaștere de forme cele mai bune cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) asigurând o valoare maximă pentru coeficientul de eficiență la detecție $CEd_{xy \text{ minim}} = 5,191$ și o valoare pentru coeficientul de eficiență la detecție intra-clasă $icCEd_{rx \text{ minim}} = 0,999$ (tabelul A.2.8).

Ultimele paragrafe arată că performanțele de detecție a procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) scad semnificativ atunci când în imaginea comună de intrare pe lângă cele două imagini martor iluminate lateral diferit se găsește o imagine non-referință cu iluminare frontală la fel ca și referința. Acest fapt este susținut cantitativ de compararea valorilor celor mai mari ale coeficientului de eficiență la detecție, $CEd_{xy \text{ minim}}$, pentru fiecare set de domenii de premodulare (tabelul 5.14).

Tabelul 5.14

Valorile maxime ale coeficientului minim de eficiență la detecție în procesul de recunoaștere de forme cu iluminare laterală, pentru corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA).

Valoarea maximă pentru $CEd_{xy \text{ minim}}$	F_{00}	F_{45}	F_{90}
Setul I de domenii de premodulare, $dfPRE$	2,853	4,492	4,468
Setul II de domenii de premodulare, $dfPRE$	4,867	5,728	5,191

Valorile coeficientului de eficiență la detecție, $CED_{xy \text{ minim}}$, prezentate în tabelul 5.14, sunt confortabile ca performanțe la recunoaștere de forme, astfel încât se poate afirma că modelul de corelator hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) este robust la iluminarea laterală în plan azimutal.

Tabelele 5.15 – 5.20 au fost introduse pentru a constata dacă există unul sau mai multe domenii de premodulare $dfPRE$ (din fiecare set *I* și *II*) care în combinație cu oricare domeniu de fază $dfPSLM$ generează performanțe la recunoașterea de forme valide, adică valoarea minimă $CED_{xy \text{ minim}} \geq CED_{\text{prag}}$.

Din tabelul 5.15 se observă că pentru *setul I* și imaginea non-referință de tipul F_{00} sunt opt domenii de premodulare $dfPRE$ care în combinație cu oricare domeniu de fază $dfPSLM$ generează performanțe de recunoaștere de forme valide, adică valoarea minimă $CED_{xy \text{ minim}} \geq CED_{\text{prag}}$. Aceste opt domenii au marcate în coloana a șaptea „Ok”.

Tabelul 5.15

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (*setul I*), peste toate domeniile $dfPSLM$. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor $F1_{45}$ și $F1_{90}$, și cu imagine non-referință iluminată frontal (de tip Fy_{00} , figura 5.6 a).

$dfPSLM$	$dfPSLM$	$icCED_{rx}$ <i>minim</i>	$icCED_{ry}$ <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> $icCED$	CED_{xy} <i>minim</i>	CED_{xy} <i>Ok</i>	$p = 3$	<i>Ierarhie</i> L_p
[0; $\pi/2$]	$[-\pi/4; \pi]$	0,273	0,289	-0,017	0,943	X	10,000	9
[0; π]	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,175	0,152	0,023	1,153	X	4,893	10
[0; $1,2\pi$]	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,155	0,105	0,050	1,476	Ok	4,470	7
[0; $1,4\pi$]	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,177	0,068	0,110	2,616	Ok	10,400	1
[0; $1,6\pi$]	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,104	0,052	0,052	1,998	Ok	6,322	5
[0; 2π]	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,175	0,074	0,101	2,361	Ok	8,981	3
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	0,155	0,060	0,095	2,587	Ok	10,021	2
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,129	0,059	0,070	2,197	Ok	7,579	4
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,109	0,056	0,053	1,937	Ok	5,969	6
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,082	0,050	0,032	1,635	Ok	4,139	8

Din tabelul 5.16 se observă că pentru *setul I* și imaginea non-referință de tipul F_{45} sunt șapte domenii de premodulare $dfPRE$ care în combinație cu oricare domeniu de fază $dfPSLM$ generează performanțe de recunoaștere de forme valide, adică valoarea minimă $CED_{xy \text{ minim}} \geq CED_{\text{prag}}$. Aceste șapte domenii de premodulare au marcate în coloana a șaptea „Ok” și se suprapun peste cele opt același set dar cu imaginea non-referință de tipul F_{00} .

Tabelul 5.16

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (*setul I*), peste toate domeniile $dfPSLM$. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor FI_{45} și FI_{90} , și cu imagine non-referință iluminată lateral (de tip Fy_{45} , figura 5.6 b).

$dfPSLM$	$dfPSLM$	$icCEDrx$ minim	$icCEDry$ maxim	Dif. $icCED$	$CEDxy$ minim	$CEDxy$ Ok	$p = 3$	Ierarhie L_p
$[0; \pi/2]$	$[-\pi/4; \pi]$	0,767	0,735	0,032	1,043	X	2,447	8
$[0; \pi]$	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,582	0,534	0,048	1,090	X	0,704	9
$[0; 1,2\pi]$	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,624	0,682	-0,057	0,916	X	0,557	10
$[0; 1,4\pi]$	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,977	0,565	0,412	1,730	Ok	5,610	7
$[0; 1,6\pi]$	$[-\pi/4; 2\pi]$	1,127	0,440	0,687	2,560	Ok	8,727	5
$[0; 2\pi]$	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,935	0,352	0,583	2,654	Ok	7,648	6
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	1,036	0,334	0,703	3,106	Ok	9,683	4
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	1,202	0,354	0,847	3,391	Ok	11,561	2
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	1,301	0,404	0,897	3,217	Ok	11,831	1
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	1,341	0,508	0,832	2,638	Ok	11,016	3

Din tabelul 5.17 se observă că pentru *setul I* și imaginea non-referință de tipul F_{90} sunt nouă domenii de premodulare $dfPRE$ care în combinație cu oricare domeniu de fază $dfPSLM$ generează performanțe de recunoaștere de forme valide, adică valoarea minimă $CEDxy_{minim} \geq CED_{prag}$. Aceste nouă domenii de premodulare au marcate în coloana a șaptea „Ok” și le includ pe toate celelalte pentru același set dar cu imaginea non-referință de tipul F_{00} și F_{45} .

Tabelul 5.17

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (*setul I*), peste toate domeniile $dfPSLM$. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor FI_{45} și FI_{90} , și cu imagine non-referință iluminată lateral (de tip Fy_{90} , figura 5.6 c).

$dfPSLM$	$dfPSLM$	$icCEDrx$ minim	$icCEDry$ maxim	Dif. $icCED$	$CEDxy$ minim	$CEDxy$ Ok	$p = 3$	Ierarhie L_p
$[0; \pi/2]$	$[-\pi/4; \pi]$	0,990	0,992	-0,002	0,998	X	8,718	10
$[0; \pi]$	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,943	0,759	0,184	1,242	Ok	7,577	8
$[0; 1,2\pi]$	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,991	0,508	0,482	1,949	Ok	8,980	6
$[0; 1,4\pi]$	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	1,042	0,325	0,717	3,204	Ok	11,965	1
$[0; 1,6\pi]$	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,635	0,271	0,364	2,344	Ok	5,454	9
$[0; 2\pi]$	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,976	0,367	0,610	2,662	Ok	9,641	5
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	0,979	0,344	0,635	2,845	Ok	10,078	4
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,933	0,269	0,664	3,467	Ok	11,167	2
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,817	0,236	0,581	3,461	Ok	10,269	3
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,654	0,213	0,441	3,072	Ok	8,400	7

Pentru a constata dacă există un domeniu de premodulare, $dfPRE$, din *setul I* care în combinație cu orice domeniu de fază, $dfPSLM$, pentru orice tip de iluminare atât în imaginea martor (FI_{00} , FI_{45} , FI_{90}) cât și în imaginea de tip non-referință (Fy_{00} , Fy_{45} , Fy_{90}), se va extrage

din tabelele 5.15, 5.16, 5.17, valoarea minimă a coeficientului de eficiență la detecție, CED_{xy} minim pentru fiecare domeniu de premodulare, $dfPRE$. Domeniul de premodulare, $dfPRE = [-3\pi/4; 3\pi/2]$ din *setul I*, pentru care valoarea coeficientului de eficiență la detecție este CED_{xy} minim = 2,587 reprezintă cea mai bună variantă pentru care corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, (FCHTC-preMFmA), are robustețea cea mai mare pentru orice tip de iluminare și pentru orice domeniu de fază, $dfPSLM$, considerate – a se vedea și tabelul 5.29.

Tabelul 5.18

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (*setul II*), peste toate domeniile $dfPSLM$. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor FI_{45} și FI_{90} , și cu imagine non-referință iluminată frontal (de tip Fy_{00} , figura 5.6 a).

$dfPSLM$	$dfPRE$	$icCED_{rx}$	$icCED_{ry}$	Dif. $icCED$	CED_{xy} minim	CED_{xy} Ok	$L_p, p =$ 3	Ierarhie L_p
[0; $\pi/2$]	[$\pi/4; \pi$]	0,196	0,324	-0,128	0,605	X	3,257	10
[0; π]	[$\pi/4; 5\pi/4$]	0,287	0,413	-0,126	0,694	X	4,190	9
[0; $1,2\pi$]	[$\pi/4; 3\pi/2$]	0,190	0,216	-0,026	0,880	X	4,270	8
[0; $1,4\pi$]	[$\pi/4; 7\pi/4$]	0,217	0,148	0,069	1,463	Ok	6,838	2
[0; $1,6\pi$]	[$\pi/4; 2\pi$]	0,205	0,094	0,111	2,180	Ok	10,050	1
[0; 2π]	[$3\pi/4; 5\pi/4$]	0,830	1,132	-0,302	0,733	X	10,125	3
	[$3\pi/4; 3\pi/2$]	0,536	0,757	-0,221	0,708	X	6,717	4
	[$3\pi/4; 7\pi/4$]	0,399	0,494	-0,095	0,807	X	5,445	5
	[$3\pi/4; 7,4\pi/4$]	0,356	0,412	-0,055	0,866	X	5,216	6
	[$3\pi/4; 2\pi$]	0,273	0,289	-0,017	0,943	X	4,882	7

Tabelul 5.19

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (*setul II*), peste toate domeniile $dfPSLM$. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor FI_{45} și FI_{90} , și cu imagine non-referință iluminată lateral (de tip Fy_{45} , figura 5.6 b).

$dfPSLM$	$dfPRE$	$icCED_{rx}$	$icCED_{ry}$	Dif. $icCED$	CED_{xy} minim	CED_{xy} Ok	$L_p, p =$ 3	Ierarhie L_p
[0; $\pi/2$]	[$\pi/4; \pi$]	0,271	0,459	-0,189	0,589	X	0,260	[$\pi/4; \pi$]
[0; π]	[$\pi/4; 5\pi/4$]	0,466	0,861	-0,395	0,542	X	2,499	[$\pi/4; 5\pi/4$]
[0; $1,2\pi$]	[$\pi/4; 3\pi/2$]	0,449	0,523	-0,074	0,859	X	2,571	[$\pi/4; 3\pi/2$]
[0; $1,4\pi$]	[$\pi/4; 7\pi/4$]	0,775	0,506	0,270	1,534	Ok	7,523	[$\pi/4; 7\pi/4$]
[0; $1,6\pi$]	[$\pi/4; 2\pi$]	0,950	0,399	0,550	2,378	Ok	11,824	[$\pi/4; 2\pi$]
[0; 2π]	[$3\pi/4; 5\pi/4$]	0,942	1,247	-0,304	0,756	X	8,587	[$3\pi/4; 5\pi/4$]
	[$3\pi/4; 3\pi/2$]	1,015	1,331	-0,316	0,763	X	9,520	[$3\pi/4; 3\pi/2$]
	[$3\pi/4; 7\pi/4$]	1,053	1,151	-0,097	0,916	X	10,028	[$3\pi/4; 7\pi/4$]
	[$3\pi/4; 7,4\pi/4$]	0,963	0,991	-0,028	0,972	X	8,899	[$3\pi/4; 7,4\pi/4$]
	[$3\pi/4; 2\pi$]	0,767	0,735	0,032	1,043	X	6,504	[$3\pi/4; 2\pi$]

Tabelul 5.20

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (*setul II*), peste toate domeniile $dfPSLM$. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor $F1_{45}$ și $F1_{90}$, și cu imagine non-referință iluminată lateral (de tip Fy_{90} , figura 5.6 c).

$dfPSLM$	$dfPRE$	$icCEDrx$	$icCEDry$	Dif. $icCED$	$CEDxy$ <i>minim</i>	$CEDxy$ <i>Ok</i>	$Lp, p =$ 3	Ierarhie Lp
$[0, \pi/2]$	$[\pi/4, \pi]$	0.992	1,039	-0,046	0,955	X	4,021	7
$[0, \pi]$	$[\pi/4, 5\pi/4]$	0.942	1,083	-0,140	0,871	X	0,496	10
$[0, 1,2\pi]$	$[\pi/4, 3\pi/2]$	0.962	0,986	-0,024	0,976	X	1,793	9
$[0, 1,4\pi]$	$[\pi/4, 7\pi/4]$	1,039	0,590	0,449	1,762	Ok	8,994	2
$[0, 1,6\pi]$	$[\pi/4, 2\pi]$	1,016	0,443	0,573	2,296	Ok	10,638	1
$[0, 2\pi]$	$[3\pi/4, 5\pi/4]$	1.024	1,287	-0,262	0,796	X	6,554	4
	$[3\pi/4, 3\pi/2]$	1.067	1,266	-0,199	0,843	X	10,000	3
	$[3\pi/4, 7\pi/4]$	1.016	1,192	-0,176	0,853	X	5,915	5
	$[3\pi/4, 7,4\pi/4]$	1.007	1,104	-0,096	0,913	X	5,204	6
	$[3\pi/4, 2\pi]$	0.990	0,992	-0,002	0,998	X	3,852	8

Spre deosebire de *setul I* de domenii de premodulare din care se pot alege șapte variante de astfel de domenii ce asigură robustețea corelatorului studiat la iluminarea laterală de orice tip, pentru *setul II* există doar două astfel de domenii de premodulare, $dfPRE$ – tabelele 5.18, 5.19 și 5.20.

Pentru a constata dacă există un domeniu de premodulare, $dfPRE$, din *setul II* care în combinație cu orice domeniu de fază, $dfPSLM$, pentru orice tip de iluminare atât în imaginea martor ($F1_{00}$, $F1_{45}$, $F1_{90}$) cât și în imaginea de tip non-referință (Fy_{00} , Fy_{45} , Fy_{90}), se va extrage din tabelele 5.18, 5.19, 5.20, valoarea minimă a coeficientului de eficiență la detecție, $CEDxy_{minim}$ pentru fiecare domeniu de premodulare, $dfPRE$. Domeniul de premodulare, $dfPRE = [\pi/4; 2\pi]$ din *setul II*, pentru care valoarea coeficientului de eficiență la detecție este $CEDxy_{minim} = 2,180$ reprezintă cea mai bună variantă pentru care corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, (FCHTC-preMFmA), are robustețea cea mai mare pentru orice tip de iluminare și pentru orice domeniu de fază, $dfPSLM$, considerate – a se vedea și tabelul 5.30.

Rezultatele evaluărilor de mai sus relevă faptul că seturile *I*, *II*, cu domenii de premodulare $dfPRE$, în combinație cu domeniile de fază $dfPSLM$, prezentate în tabelul 5.13, realizează din corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA) – propus de autor – un model de corelator robust la orice tip de iluminare considerat, atât în imaginea martor ($F1_{00}$, $F1_{45}$, $F1_{90}$) cât și în imaginea de tip non-referință (Fy_{00} , Fy_{45} , Fy_{90}).

5.5 Evaluarea performanțelor corelatorului (FHTC-preMFmA) la rotația în plan a imaginii martor

Modelele de corelatoare cu transformată comună, în domeniul amplitudinii sau fazei, analizate în această lucrare nu sunt robuste la rotația în planul de intrare a imaginilor, sub forma prezentată până aici. Utilizarea transformatei Fourier clasice în aceste modele de corelatoare are ca și consecință rotirea spectrului de putere odată cu rotirea în plan a imaginii (figura 5.9 a, c, e, f), ceea ce deformează total distribuția frecvențelor spațiale care discriminează imaginile (formele) și stau la baza procesului de detecție. Literatura de specialitate oferă o multitudine de variante de adaptare a corelatoarelor cu transformată comună:

- utilizarea filtrelor armonice circulare (CHF - circular harmonic filter) [96-105];
- utilizarea unor filtre de tip trece-bandă sub formă de disc;
- realizarea unui filtru multi-imagie care să producă intensități egale ale maximelor de autocorelație pentru imaginile din combinația ce alcătuiesc filtrul (ECP – SDF equal-correlation-peak – syntetic discriminant filter) [98,106-109];
- realizarea unui filtru multi-imagie care să producă lărgimi medii minime ale maximelor de autocorelație pentru imaginile din combinația ce alcătuiesc filtrul (MACE – SDF minimum average-correlation-energy – syntetic discriminant filter) [98,110-116];
- înlocuirea transformatei Fourier cu transformata Fourier-Mellin și apoi utilizarea corelației cu transformată Fourier pentru obținerea informației de recunoaștere de forme [98,111-121].

Autorul a ales ca variantă de adaptare a modelului propus de acesta – corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA) – o variantă modificată a transformatei Fourier-Mellin.

Transformata Fourier-Mellin se realizează în următorii pași [98,121]:

1. se transformă Fourier imaginea $s(x, y)$ – exemplu în figura 5.9 a, b – rezultând imaginea transformată, $S(u, v)$, și spectrul de putere, $SPS(u, v)$,

$$SPS(u, v) = SP[\mathcal{F}[s(x, y)]] = SP[S(u, v)] = |S(u, v)|^2, \quad (6.1)$$

unde u și v reprezintă frecvențele spațiale din planul Fourier sau planul frecvențelor spațiale (acesta coincide cu planul focal al lentilei cu care se realizează transformarea Fourier)

2. se realizează transformarea din coordonate carteziene (u, v) ale imaginii $S(u, v)$, în coordonate polare (r, θ) , după care se scalează logaritmice după coordonata polară r , obținându-se o imagine (generic denumită) transformată log-polară $S(\log r, \theta)$ – exemplu în figura 5.9 e, f, g, h, i, j. Scalarea logaritmice a coordonatei r oferă o invarianță mai mare la scalarea imaginilor (efectul de „zoom”).

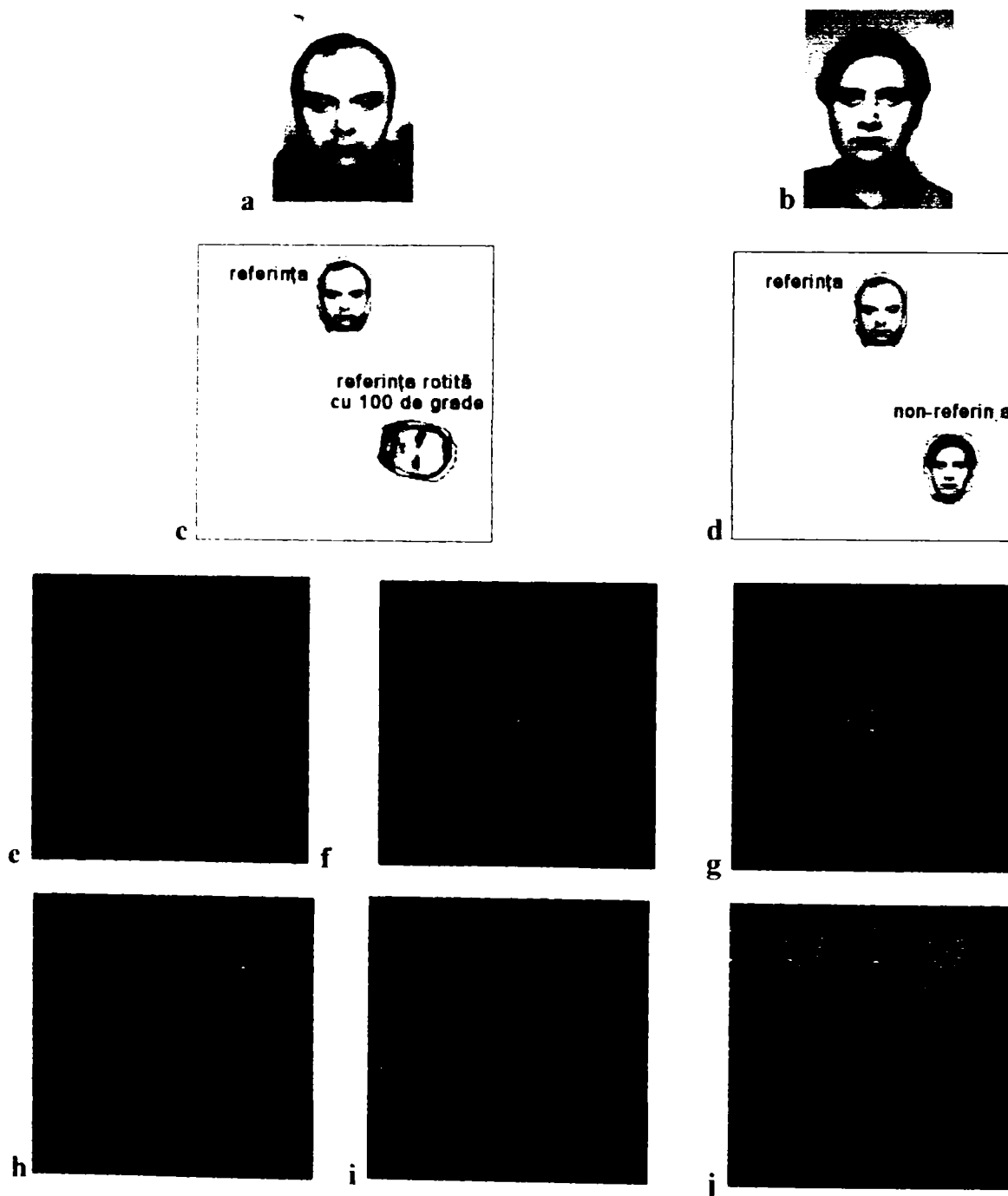


Fig. 5.9 Setul de imagini prezentate cu scopul de a ilustra transformarea de invarianță la rotație

- a - imaginea de referință;
- b - imagine non-referință (cu codul F8 din setul din figura 5.3);
- c - imaginea comună inițială: referință cu imagine martor (referința rotită rotită la 100°);
- d - imaginea comună inițială: referință cu o imagine non-referință;
- e - spectrul de putere al referinței filtrat cu filtrul trece-sus;
- f - spectrul de putere al imaginii martor (referința rotită cu 100°) filtrat cu filtrul trece-sus;
- g - spectrul de putere al imaginii non-referință filtrat cu filtrul trece-sus;
- h - spectrul de putere al referinței filtrat cu filtrul trece-sus și transformat polar;
- i - spectrul de putere al imaginii martor filtrat cu filtrul trece-sus și transformat polar;

j – spectrul de putere al imaginii non-referință filtrat cu filtrul trece-sus și transformat polar.

Testele de performanță de recunoaștere de forme în prezența rotației realizate pentru modelele de corelatoare *hibride* cu transformată comună prezentate, arată că procesul de corelație cu aceste modele de corelatoare eșuează în unele cazuri atunci când se utilizează transformata Fourier-Mellin (sau log-polară) descrisă mai sus. Variantele adaptate cu transformata Fourier-Mellin (log-polară) a modelelor de corelatoare *optice* cu transformată comună asigură performanțe mulțumitoare în procesul de recunoaștere de forme.

Realizarea unei filtrări de tip trece-sus a transformatei Fourier inițiale, $S(u, v) = \mathcal{F}[s(x, y)]$, este o adaptare a transformatei Fourier-Mellin pentru robustețea la rotație. Filtrul trece-sus va scoate în evidență frecvențele spațiale medii și superioare care redau, de fapt, detaliile imaginilor. Literatura de specialitate [98,121] prevede pentru acest tip de filtru următoarea formă matematică:

$$F_{ts}(u, v) = \left[(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2 \right]^{p.25} \equiv \sqrt{r(u, v)} \quad (6.2)$$

identică cu cea a rădăcinii pătratice a razei vectoriale a punctelor imaginii transformate considerând centrul de coordonate în punctul de coordonate (u_0, v_0) . Unii autori [96-111] propun utilizarea unui filtru trece-sus modificat astfel încât frecvențele spațiale superioare să fie foarte mult amplificate, cu forma matematică

$$Fm_{ts}(u, v) = \left[(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2 \right]^q, \quad q > 2. \quad (6.3)$$

Analiza de performanțe de recunoaștere de forme, realizată de autor, pentru corelatoarele în domeniul fazei, dar și în domeniul amplitudinii, arată că reliefarea pronunțată a frecvențelor spațiale în cazul modelelor hibride cu filtru trece-sus descris de relația (6.3) este un dezavantaj pentru robustețea la rotație.

Spectrul de putere al referinței (figura 5.9 e) diferă mult în zona frecvențelor spațiale superioare localizate înspre marginile imaginilor, de exemplu, față de spectrul de putere al referinței rotite cu 100° (ce reprezintă o imagine martor – figura 5. f). Această remarcă este făcută pe imaginile din figura 5.9 e și f care sunt, de fapt, filtrate cu un filtru trece-sus de intensitate medie, de forma propusă de autor

$$H(u, v) = \left[(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2 \right]^q, \quad q = 0,75. \quad (6.4)$$

Se mai poate observa că zona frecvențelor spațiale medii situate spre centrul imaginilor spectrelor de putere (figura 5.9 e, f) ale imaginilor originală și rotite, filtrate cu filtrul trece-sus de intensitate medie (6.4) propus de autor, sunt observabil asemănătoare. Trecând și la spectrul de putere

al imaginii de tip non-referință filtrat cu filtrul propus de autor, se remarcă faptul că zona frecvențelor spațiale medii este observabil diferită de cea a spectrelor de putere a imaginii de referință și martor, filtrate identic. Se presupune că astfel procesul de corelație utilizat în corelatoarele cu transformată comună să poată discrimina cu succes între imaginea de referință și cea de non-referință și să „recunoască” imaginea martor ca fiind din clasa referinței.

Frecvențele spațiale medii invariante la rotație sunt motivul pentru care autorul propune eliminarea transformării logaritmice a coordonatelor polare care scoate în evidență frecvențele spațiale superioare.

Problematika de până acum a fost abordată pentru a realiza o metodă care să prezinte invarianța distribuției spațiale a intensității luminoase a spectrelor de putere la rotație. Transformatele Fourier de până acum nu au fost transformate ale imaginilor comune, ci ale imaginilor de referință și ale scenei (imaginea martor, respectiv imagine de tip non-referință). Ele au fost prelucrate astfel încât imaginile martor, derivate din imaginea de referință prin rotire plană, să prezinte spectre de putere polare filtrate trece-sus aproximativ identice cu cel al referinței, dar mult diferite de cel al imaginii de tip non-referință prelucrate în mod identic.

Soluția completă propusă de autor are următoarele etape (utilizate și în lucrarea de față pentru a studia performanțele de recunoaștere de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA) – propus de autor):

- a. transformarea Fourier, $S(u, v)$, a imaginilor inițiale $s(x, y)$ - referință, martor și non-referință (figura 5.9 a, b, c, d) [58, 94],
- b. obținerea spectrului de putere filtrat (figura 5.9 e, f, g), cu filtrul de tip trece-sus modificat, propus de autor în relația (6.4)

$$\begin{aligned} S_{_Fmts}(u, v) &= S(u, v) \cdot H(u, v) \\ &= S(u, v) \cdot \left[(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2 \right]^{p,75}, \end{aligned}$$

- c. transformarea coordonatelor carteziene (u, v) în coordonate polare (r, θ) și obținerea spectrului de putere polar filtrat trece-sus, $Spol_Fmts(u, v)$ (figura 5.9 h, i, j) [58, 94],
- d. realizarea imaginii comune de intrare pentru corelatoarele optice sau hibride cu transformată comună, astfel:
 - se mediază cele două jumătăți verticale (după coordonata polară r) ale imaginii spectrului de putere polar filtrat dat de imaginea de referință,

- $REFpol_Fmts(u,v)$, și se introduce ca imagine de referință în imaginea comună de intrare pentru corelatorul cu transformată comună (figura 5. 10 a și b, centru sus),
- imaginea completă a spectrului de putere polar filtrat dat de imaginea de referință, $REFpol_Fmts(u,v)$, se introduce ca imagine martor în imaginea comună de intrare pentru corelatorul cu transformată comună (figura 5. 10 a și b, dreapta jos),
 - imaginile complete ale spectrului de putere polar filtrat generate de imaginea martor, $Mpol_Fmts(u,v)$, și respectiv, imaginea de tip non-referință, $NRpol_Fmts(u,v)$, se introduc în imaginea comună de intrare pentru corelatorul cu transformată comună (figura 5. 10 a și, respectiv b, stânga jos),
- e. imaginea comună de intrare rezultată astfel se introduce în procesul de corelație al corelatoarelor cu transformată comună.

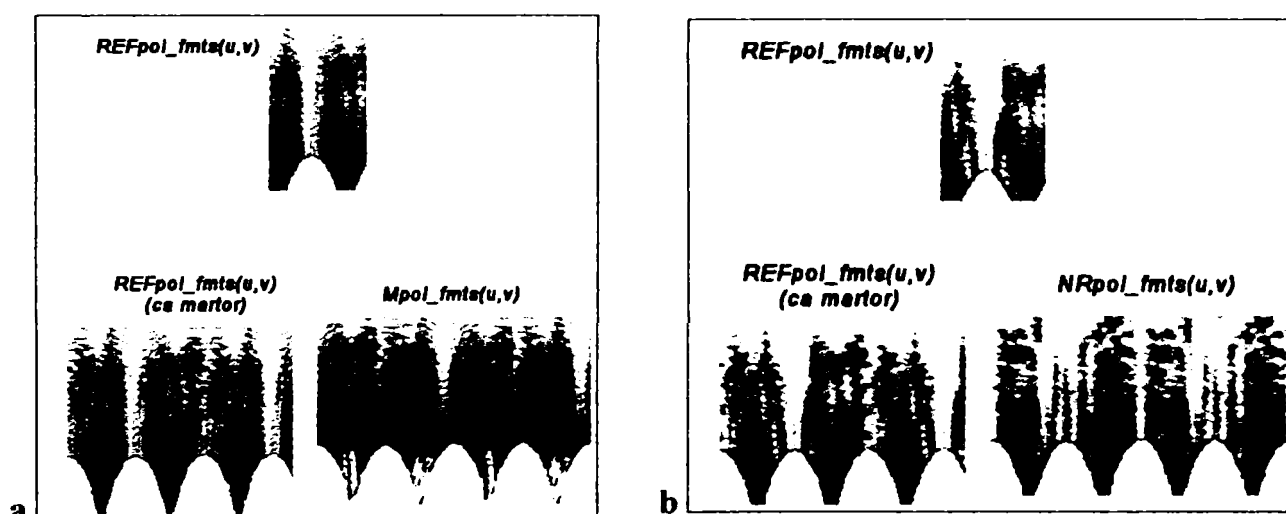


Fig. 5.10 Imagini comune de intrare ale procesul de recunoaștere de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA), pentru invarianța la rotație

- a – imaginea comună de intrare utilizată pentru detecția imaginilor martor din clasa referinței (corespunzătoare imaginii comune din figura 5.9 c pentru procesarea invariantă)
- b – imaginea comună de intrare utilizată pentru rejectia imaginilor non-referință (corespunzătoare imaginii comune din figura 5.9 d pentru procesarea invariantă)

Imaginile de ieșire generate de procesul de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA) având ca imagini comune de intrare din figura 5.10 a și b, au reprezentările grafice redată în figura 5.11 a, respectiv b. Dimensiunile acestor imagini comune de intrare trebuie să fie cel puțin de două ori mai mari decât dimensiunile imaginilor inițiale (figura 5.9 c,

d, h, i, j). Studiul de față ia în considerare dimensiuni de 256x256 de pixeli, în 256 de niveluri de gri, pentru imaginile inițiale și de 512x512 de pixeli, în 256 de niveluri de gri, pentru imaginile comune de intrare (figura 5.10 a, b).

Alegerea ca imagine de referință a mediei celor două jumătăți ale spectrului de putere polar filtrat al referinței, generează prezența unui dublet de maxime de autocorelație (figura 5.11 a și b), respectiv de corelație pentru prezența spectrului de putere polar filtrat martor (figura 5.11 b). Dubletul de maxime de corelație generat de spectrul polar filtrat al imaginii martor este deplasat în ansamblu spre dreapta imaginii (figura 5.11 a). Metoda de construire a invarianței la rotație descrisă anterior produce astfel, aceleași distribuții ale intensității luminoase în spectrele de putere polare filtrate ale imaginilor inițiale rotite, dar deplasate lateral în funcție de direcția și unghiul de rotație din imaginea inițială. Exemplul dat prezintă o rotație a imaginii de referință inițială cu 100° spre dreapta, fapt marcat și de deplasarea proporțională a dubletului de maxime de corelație.

Sincronizarea rotației imaginilor inițiale cu deplasarea laterală proporțională cu unghiul de rotație conferă avantajul de a putea determina, prin această metodă, atât detecția imaginii de referință cât și valoarea unghiului de rotație a acesteia.

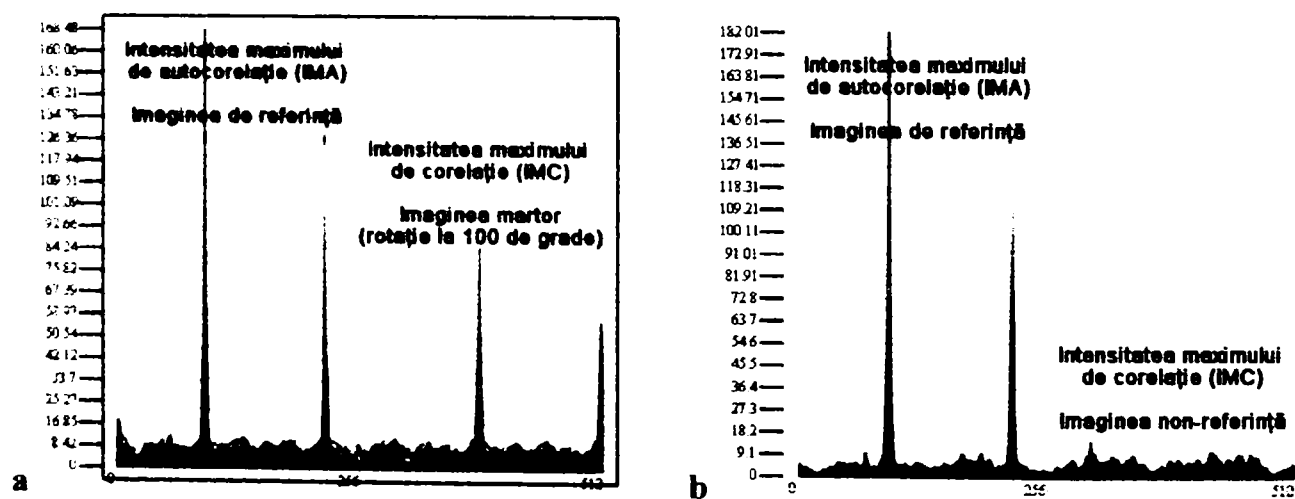


Fig. 5.11 Reprezentarea grafică a rezultatelor procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA), pentru invarianța la rotație:

- a – reprezentarea grafică 2D a unei linii de corelație pentru măsurarea intensităților maximelor de corelație și interpretarea rezultatelor (maximele de corelație sunt marcate corespunzător figurii 5.9 c), pentru imaginea de intrare din cazul 5.10 a,
- b – reprezentarea grafică 2D a unei linii de corelație pentru măsurarea intensităților maximelor de corelație și interpretarea rezultatelor (maximele de corelație sunt marcate corespunzător figurii 5.9 d), pentru imaginea de intrare din cazul 5.10 b.

Performanțele de recunoaștere de forme în funcție de rotația plană a imaginii de referință cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA), propus de autor, au fost evaluate pentru imagini martor derivate prin rotația referinței între 10° - 100° (cu pasul de 10°).

Parametrii de intrare pentru procesul de corelație au fost fixați astfel : domeniul de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$ și domeniul de premodulare $dfPRE = [-\pi; \pi/2]$.

S-au considerat imagini de tip non-referință cele prezentate în figura 5.3, pentru care s-au generat direct prin corelație coeficienții de eficiență la detecție de tipul $icCEDry$, redați în tabelul 5.32 și figura 5.12. Pentru studiul performanțelor de recunoaștere de forme se reține valoarea maximă a acestui coeficient, $icCEDry_{\text{maxim}} = 0,095$.

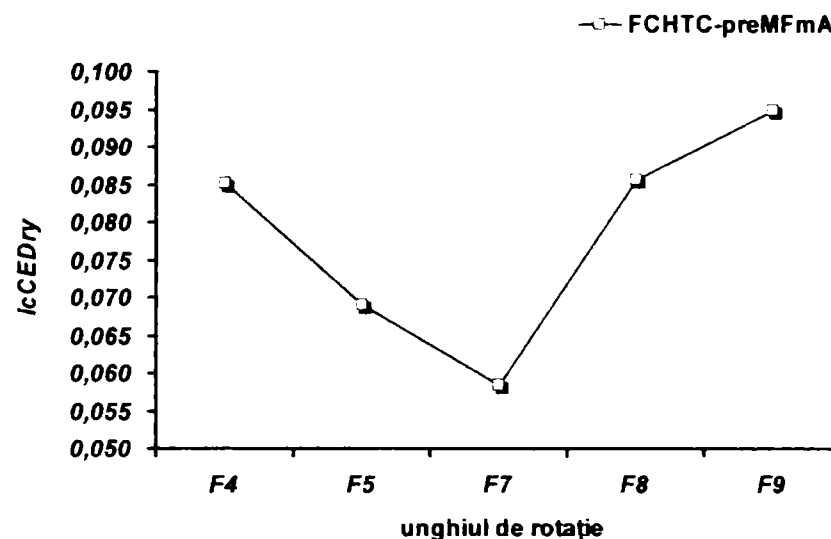


Fig. 5.12 Reprezentarea grafică a coeficientului de eficiență la detecție, $icCEDry$, în funcție de codul imaginii de tip non-referință, pentru procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus) cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA). Parametrii de intrare pentru procesul de corelație sunt : domeniul de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$ și domeniul de premodulare $dfPRE = [-\pi; \pi/2]$.

Analog pentru imaginile martor s-au generat direct prin corelație coeficienții de eficiență la detecție intra-clasă de tipul $icCEDrx$ și s-au calculat coeficienții de detecție $CEDxy$. Rezultatele numerice ale acestora sunt prezentate în tabelul 5.33 și reprezentate grafic în figura 5.13 și 5.14. Pentru evaluarea performanțelor de recunoaștere de forme se reține valoare minimă a acestor coeficienți $icCEDrx_{\text{minim}} = 0,600$, respectiv $CEDxy_{\text{minim}} = 6,327$.

Condiția ca procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus) să fie robust, este dată de respectarea inegalității din relația (5.6). Această condiție presupune ca valoarea minimă a coeficientului $icCEDrx_{\text{minim}} = 0,600$ să fie mai mare decât valoarea maximă a coeficientului $icCEDry_{\text{maxim}} = 0,095$, fapt îndeplinit cu succes în cazul corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA), propus de autor. Coeficientul care confirmă complet acest lucru este coeficientul de eficiență la detecție, $CEDxy$, calculat aici pentru imaginile martor și cea de tip non-referință. Valoarea minimă a acestui coeficient trebuie să depășească

valoarea de prag. $CED_{prag} = 1,200$, care validează procesul de recunoaștere. Din tabelul 5.33 se poate extrage valoarea minimă a coeficientului de eficiență la detecție, $CED_{xy \text{ minim}} = 6,327$, care este mult mai mare decât cea de prag (figura 5.13).

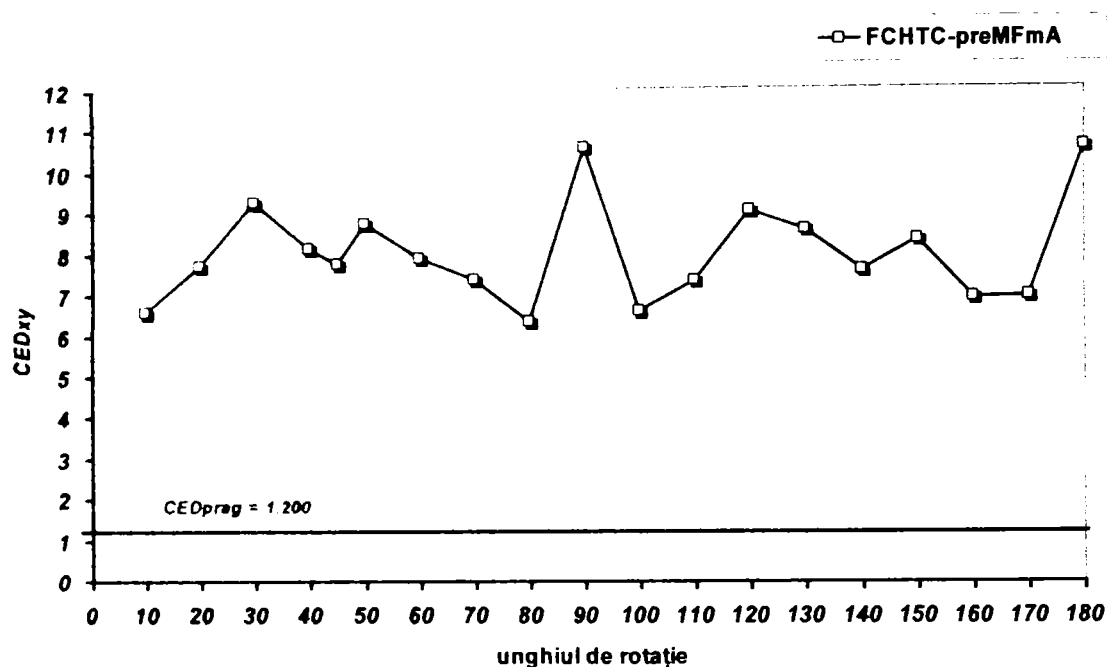


Fig. 5.13 Reprezentarea grafică a coeficientului de eficiență la detecție, CED_{xy} , în funcție de unghiul de rotație pentru procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus) cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA). Linia roșie orizontală marchează pragul de validare al procesului de corelație cu parametrii de intrare: domeniul de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$ și domeniul de premodulare $dfPRE = [-\pi; \pi/2]$.

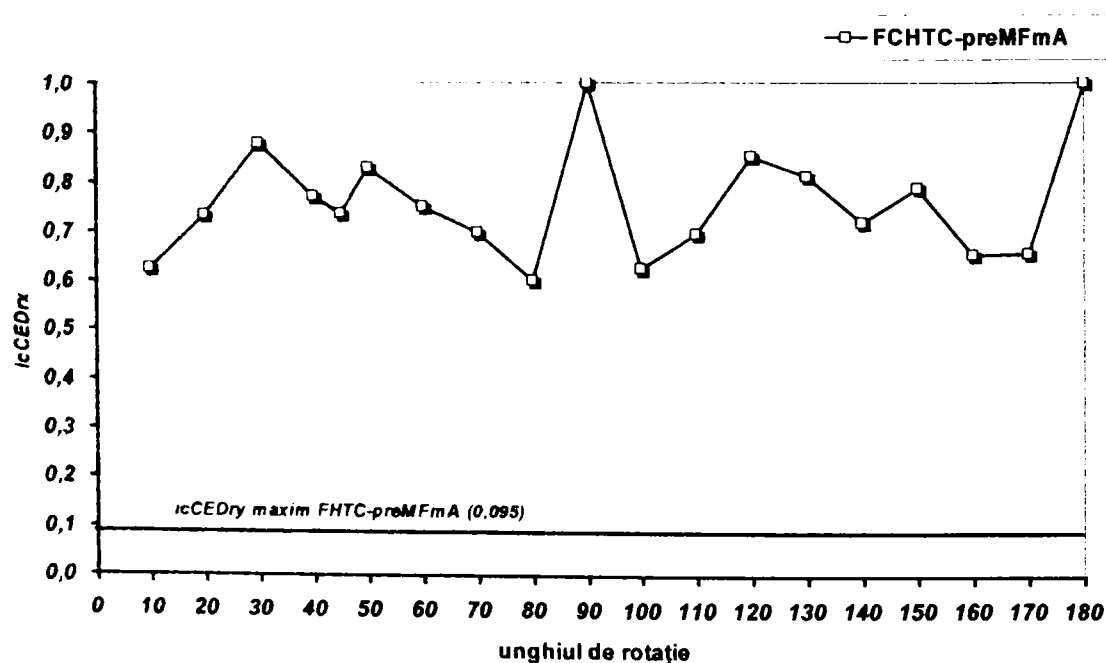


Fig. 5.14 Reprezentarea grafică a coeficientului de eficiență la detecție intra-clasă, $icCED_{rx}$, în funcție de unghiul de rotație pentru procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus) cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA). Linia roșie orizontală marchează pragul de validare al procesului de corelație cu parametrii de intrare: domeniul de fază,

$$dfPSLM = [0; \pi] \text{ și domeniul de premodulare } dfPRE = [-\pi; \pi / 2].$$

Reprezentarea grafică a dependenței coeficientului $icCEDrx$ de unghiul de rotație (figura 5.14), scoate în evidență faptul că toate valorile coeficientului de eficiență la detecție intra-clasă, $icCEDrx$, sunt mult mai mari decât valoarea maximă a aceluiași tip de coeficient, $icCEDry$, pentru imaginile non-referință. Cu alte cuvinte corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA) propus de autor este robust la rotația plană a imaginii de referință.

5.6 Analiza performanțelor la recunoașterea de forme și a robusteții corelatoarelor hibride cu transformată comună

5.6.1 Analiza comparativă a performanțelor de recunoaștere de forme între corelatoarele hibride cu transformată comună în funcție de geometria imaginii comune

Capitolele 3 și 4 ale lucrării, prezintă comparativ performanțele de recunoaștere de forme ale modelelor de corelatoare hibride în domeniile amplitudinii și fazei cu transformată comună, în funcție de geometria imaginii scenei și implicit a imaginii comune de intrare. Sub denumirea de geometria imaginii s-a înțeles spațierea dintre imaginile componente ale imaginii comune de intrare și definiția acestora.

S-a creat un set de configurații ale imaginilor comune de intrare (figura 3.11) cu care s-au testat performanțele tuturor modelelor de corelatoare optice sau hibride cu transformată comună prezentate. Pentru a finaliza această analiză, în figura 5.15 sunt reprezentate grafic comparativ performanțele cele mai bune ale modelelor de corelatoare cu transformată comună studiate, generate în aceleași condiții (aceleași domenii de premodulare, $dfPRE$, și de fază, $dfPSLM$, unde este cazul).

Reprezentarea grafică a rezultatelor din figura 5.15 relevă faptul că cele mai mari valori ale coeficientului de eficiență la detecție le generează modelul propus de autor, și anume corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA). Pe locul secund se situează corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine

(FCHTC-MFmA), modificat de autor din domeniul amplitudinii în domeniul fazei. Cel mai mic raport dintre coeficienții de eficiență la detecție, CED , ai celor două corelatoare hibride din domeniul fazei este de 1,791, pentru imaginea comună de intrare cu codul 2N512z (tabelul 5.21). Cel mai mic raport dintre coeficienții de eficiență la detecție, CED , ai corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA) și ai corelatorului hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA), este de 3,078, pentru imaginea comună de intrare cu codul 2N256z (tabelul 5.21).

Tabelul 5.21

Compararea performanțelor maxime ale corelatoarelor hibride cu transformată comună în domeniul amplitudinii și fazei exprimate prin valoarea coeficientului de eficiență la detecție, CED , generate în aceleași condiții (parametrii de intrare).

CED	2N256	2N256z	2N512	2N512z	4N256	4N512	4N512x	$dfPSLM$	$dfPRE$
CHTC-MFmA	2,104	2,108	2,800	2,861	1,647	2,106	2,000	-	-
FCHTC-preMFmA	23,650	6,489	65,595	10,817	12,910	23,320	20,736	$[0; \pi]$	$[0; 2\pi]$ $[-\pi; \pi]$
Raportul CED	11,240	3,078	23,427	3,780	7,838	11,073	10,368		
FCHTC-MFmA	3,487	2,388	9,940	6,039	4,053	6,097	3,463	$[0; \pi]$	-
FCHTC-preMFmA	23,650	6,489	65,595	10,817	12,910	23,320	20,736	$[0; \pi]$	$[0; 2\pi]$ $[-\pi; \pi]$
Raportul CED	6,782	2,717	6,599	1,791	3,185	3,824	5,987		

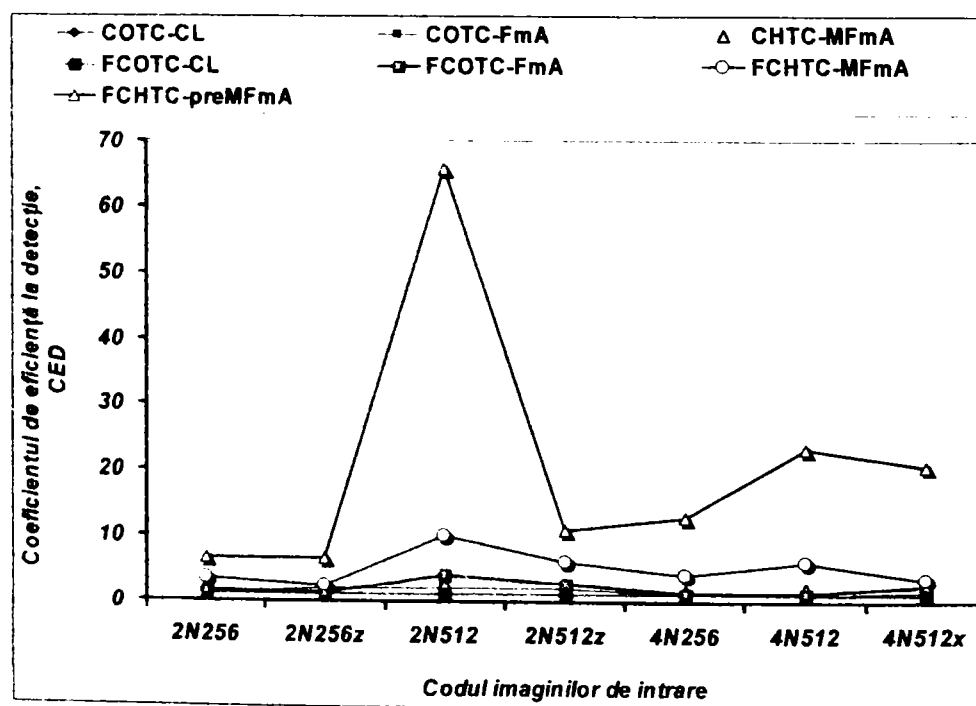


Fig. 5.15 Reprezentarea grafică a celor mai bune performanțe ale procesului de recunoaștere de forme realizat cu modelele de corelatoare cu transformată comună studiate.

S-au considerat aceleași condiții (aceleași domenii de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$, și domeniul de premodulare, $dfPRE = [-\pi; \pi]$ sau $[0; 2\pi]$, unde este cazul) pentru

procesul de corelație.

În continuare pentru analiza comparativă a performanțelor la recunoașterea de forme se vor considera doar aceste trei modele din tabelul 5.21.

5.6.2 Analiza comparativă a robusteții la zgomotul aditiv a corelatoarelor hibride cu transformată comună în domeniul amplitudinii și modelele propuse în domeniul fazei

În subcapitolul 5.3 s-a evaluat robustețea corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA) la zgomotul uniform aditiv. Performanțele de recunoaștere de forme în acel caz au fost evaluate pentru mai mulți parametri: un set de șase domenii de fază, $dfPSLM$, trei seturi de domenii de premodulare, $dfPRE$, pentru un set de zece imagini martor derivate din imaginea de referință perturbată cu zgomot uniform aditiv progresiv de la 5% la 50%. Rezultatele prezentate în subcapitolul 5.3 confirmă faptul că modelul original de corelator propus de autor, (FCHTC-preMFmA), este robust la zgomotul uniform aditiv.

Tabele 5.22 – 5.26 au fost întocmite pentru a putea analiza comparativ performanțele celor trei modele de corelatoare hibride cu transformată comună. Rezultatele redată în aceste tabele arată că toate cele trei corelatoare hibride cu transformată comună sunt robuste la zgomotul aditiv, fapt dovedit de prezența valorilor coeficienților de eficiență la detecție $CED_{xy_{\min}}$ mai mari decât valoarea de prag $CED_{\text{prag}} = 1,200$.

Se mai remarcă faptul că valorile coeficienților de eficiență la detecție, $CED_{xy_{\min}}$, generați de seturile II, și III, de domenii de premodulare, $dfPRE$, cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA) prezintă valori mai mari decât cele ale corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-MFmA). Setul I de domenii de premodulare, $dfPRE$, în schimb, nu prezintă această proprietate, iar domeniile de premodulare respective nu trebuie utilizate dacă se doresc performanțe mai bune.

Cele mai bune performanțe, deci și valori maxime ale coeficientului $CED_{xy_{\min}}$, le posedă corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată

modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA). Raportul dintre valoarea maximă a coeficientului $CE_{Dxy_{\min}} = 6.099$ – tabelul 5.25 – pentru acest corelator și cel pentru corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-MFmA), $CE_{Dxy_{\min}} = 4.941$, este de 1,2343 și demonstrează afirmația anterioară.

Tabelul 5.22

Performanțele la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună, modificat cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA) – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.

$icCED_{rx}$	$icCED_{ry}$	Dif.	CE_{Dxy}	CE_{Dxy}
<i>minim</i>	<i>maxim</i>	<i>icCED</i>	<i>minim</i>	<i>Ok</i>
0,906	0,403	0,504	2,309	OK

Tabelul 5.23

Ierarhizarea performanțelor la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-MFmA), pentru domeniile de fază, $dfPSLM$ – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.

$dfPSLM$	$icCED_{rx}$	$icCED_{ry}$	Dif.	CE_{Dxy}	CE_{Dxy}	LpT	Ierarhie
	<i>minim</i>	<i>maxim</i>	<i>icCED</i>	<i>minim</i>	<i>Ok</i>	$p = 3$	LpT
[0; 1,4 π]	0,597	0,127	0,470	4,941	OK	10,652	1
[0; 2 π]	0,864	0,553	0,311	1,656	OK	10,000	2
[0; 1,6 π]	0,702	0,183	0,520	4,056	OK	9,350	3
[0; 1,2 π]	0,483	0,118	0,365	4,205	OK	8,151	4
[0; π]	0,385	0,107	0,278	3,739	OK	6,499	5
[0; $\pi/2$]	0,207	0,093	0,114	2,366	OK	2,161	6

Tabelul 5.24

Combinările dintre domeniile de premodulare, $dfPRE$, din setul I și domenii de fază, $dfPSLM$, care produc performanțele cele mai bune la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA) – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.

$dfPSLM$	$dfPRE$	$icCED_{rx}$	$icCED_{ry}$	Dif.	CE_{Dxy}	CE_{Dxy}	LpT	Ierarhie
		<i>minim</i>	<i>maxim</i>	<i>icCED</i>	<i>minim</i>	<i>Ok</i>	$p = 3$	LpT
[0; 1,2 π]	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,064	0,023	0,042	2,885	OK	10,115	1
[0; π]	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,084	0,031	0,053	2,811	OK	10,128	2
[0; 1,4 π]	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,041	0,019	0,022	2,444	OK	10,076	3
[0; π]	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	0,046	0,022	0,025	2,259	OK	7,072	4
[0; $\pi/2$]	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,222	0,117	0,104	2,161	OK	10,129	5
[0; π]	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,041	0,022	0,019	2,213	OK	6,822	6

Tabelul 5.25

Combinățiile dintre domeniile de premodulare, $dfPRE$, din setul II și domenii de fază, $dfPSLM$, care produc performanțele cele mai bune la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA) – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.

$dfPSLM$	$dfPRE$	$icCEDrx$ <i>minim</i>	$icCEDry$ <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> $icCED$	$CEDxy$ <i>minim</i>	$CEDxy$ Ok	LpT $p = 3$	ierarhie LpT
[0; $\pi/2$]	[$\pi/4$; $5\pi/4$]	0,579	0,103	0,476	5,920	OK	10,827	1
[0; $\pi/2$]	[$\pi/4$; $3\pi/2$]	0,489	0,092	0,398	5,838	OK	10,258	2
[0; π]	[$\pi/4$; $3\pi/2$]	0,304	0,053	0,251	6,099	OK	10,164	3
[0; $\pi/2$]	[$3\pi/4$; $5\pi/4$]	0,806	0,426	0,379	1,965	OK	10,040	4
[0; $\pi/2$]	[$\pi/4$; $7\pi/4$]	0,369	0,074	0,296	5,680	OK	9,565	5
[0; π]	[$3\pi/4$; $5\pi/4$]	0,637	0,145	0,492	4,585	OK	9,504	6

Tabelul 5.26

Combinățiile dintre domeniile de premodulare, $dfPRE$, din setul III și domenii de fază, $dfPSLM$, care produc performanțele cele mai bune la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA) – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.

$dfPSLM$	$dfPRE$	$icCEDrx$ <i>minim</i>	$icCEDry$ <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> $icCED$	$CEDxy$ <i>minim</i>	$CEDxy$ Ok	LpT $p = 3$	ierarhie LpT
[0; $\pi/2$]	[$-3\pi/4$; $3\pi/4$]	0,369	0,074	0,296	5,680	OK	10,255	1
[0; π]	[$-\pi/2$; $\pi/2$]	0,435	0,081	0,354	5,468	OK	10,040	2
[0; π]	[$-\pi/4$; $\pi/4$]	0,637	0,145	0,492	4,585	OK	9,672	3
[0; π]	[$-3\pi/4$; $3\pi/4$]	0,228	0,042	0,186	5,473	OK	9,666	4
[0; $\pi/2$]	[$-\pi/4$; $\pi/4$]	0,806	0,426	0,379	1,965	OK	9,520	5
[0; $1,2\pi$]	[$-\pi/4$; $\pi/4$]	0,533	0,111	0,422	4,904	OK	9,499	6

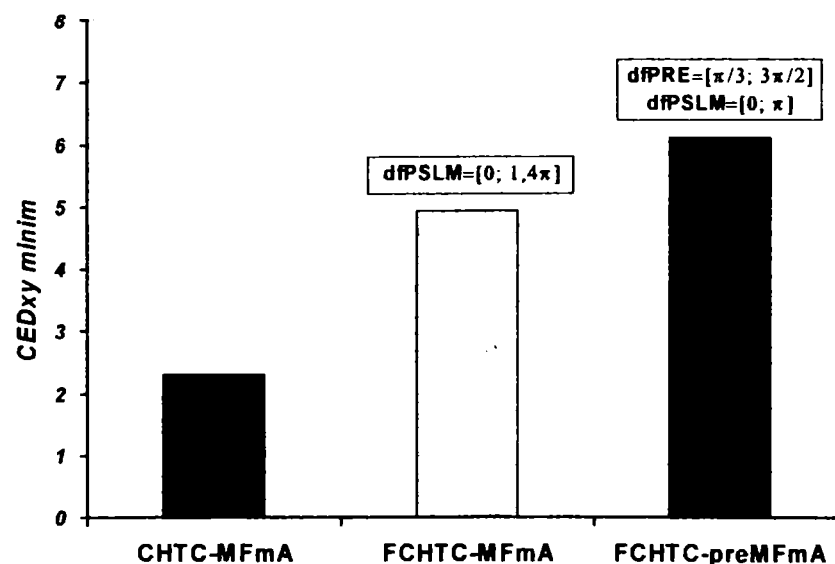


Fig. 5.16 Reprezentarea grafică a celor mai bune performanțe ale procesului de recunoaștere de forme realizat cu modelele de corelatoare hibride cu transformată comună analizate pentru robustețea la zgomotul aditiv.

Concluziile analizei de mai sus (figura 5.16) permit afirmația că modelul original de corelator hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA), propus de autor, prezintă robustețea cea mai mare la zgomot uniform aditiv dintre toate corelatoarele studiate.

5.6.3 Analiza comparativă a robusteții la iluminarea laterală a corelatoarelor hibride cu transformată comună în domeniul amplitudinii și modelele propuse în domeniul fazei

Iluminarea laterală cu sursa rotită azimutal generează o deformare mai puternică decât variația intensității luminoase, de exemplu. Atunci când sursa de lumină este rotită lateral, ca și în cazul studiat în subcapitolul 5.4, cele două jumătăți ale feței umane devin diferite între ele, din punct de vedere al distribuției intensității luminoase. Această diferență poate pune în dificultate procesul de recunoaștere de forme cu corelatoarele care utilizează ca „termen de comparație” distribuția intensității luminoase.

Analiza comparativă a robusteții la iluminarea laterală a celor trei modele de corelatoare hibride cu transformată comună a necesitat construirea tabelelor 5.27 – 5.30. Rezultatele corelației prezentate în aceste tabele, pentru fiecare corelator în parte, au fost generate pentru setul de imagini comune de intrare de tipul celor din figura 5.6, construite pentru toate imaginile din tabelul 5.11. Regula cu care s-au prelucrat statistic aceste rezultate în tabelele de mai jos este aceeași din tabelele 5.22 (identic ca formă cu 5.27, 5.28) și 5.24 (identic ca formă cu 5.29 și 5.30).

Rezultatul din tabelul 5.27, remarcă eșuarea procesului de detecție a corelatorului hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA), prin faptul că valoarea coeficientului de eficiență la detecție, $CEd_{xy_{\min}} = 0,707$ este mult mai mică decât valoarea de prag, $CEd_{\text{prag}} = 1,200$, care asigură succesul procesului de detecție.

Valorile coeficientului de eficiență la detecție, atât pentru corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-MFmA), cât și pentru corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA), propus de autor, depășesc valoarea de prag și sunt chiar apropiate valoric (pentru setul *I*, tabelul 5.29; pentru setul *II*, tabelul 5.30). Ca urmare cele două modele de corelatoare în domeniul fazei cu transformată comună sunt robuste la toate tipurile de iluminare prezente atât în imaginea martor ($F1_{00}$, $F1_{45}$, $F1_{90}$) cât și în imaginea de tip non-referință (Fy_{00} , Fy_{45} , Fy_{90}) și pentru orice domeniu de fază ales, $dfPSLM$.

Tabelul 5.27

Performanțele la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună, modificat cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA) – s-au considerat simultan rezultatele pentru toate tipurile de iluminare prezente atât în imaginea martor ($F1_{00}$, $F1_{45}$, $F1_{90}$) cât și în imaginea de tip non-referință (Fy_{00} , Fy_{45} , Fy_{90}) și pentru orice domeniu de fază ales, $dfPSLM$.

$icCEDrx$	$icCEDry$	$Dif.$	$CEDxy$	$CEDxy$
<i>minim</i>	<i>maxim</i>	<i>icCED</i>	<i>minim</i>	<i>Ok</i>
0,818	1,158	-0,340	0,707	X

Tabelul 5.28

Ierarhizarea performanțelor la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-MFmA), pentru domeniile de fază, $dfPSLM$. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru toate tipurile de iluminare prezente atât în imaginea martor ($F1_{00}$, $F1_{45}$, $F1_{90}$) cât și în imaginea de tip non-referință (Fy_{00} , Fy_{45} , Fy_{90}) și pentru orice domeniu de fază ales, $dfPSLM$.

	$icCEDrx$	$CEDxy$	$CEDxy$	Ierarhie
$dfPSLM$	<i>minim</i>	<i>minim</i>	<i>Ok</i>	<i>Lp</i>
$[0; 2\pi]$	0,223	2,114	OK	1
$[0; 1,6\pi]$	0,255	1,603	OK	2
$[0; 1,4\pi]$	0,274	1,532	OK	3
$[0; 1,2\pi]$	0,296	1,439	OK	4
$[0; \pi]$	0,328	1,178	X	5
$[0; \pi/2]$	0,987	0,733	X	6

Tabelul 5.29

Combinățiile dintre domeniile de premodulare, $dfPRE$, din *setul 1* și domenii de fază, $dfPSLM$, care produc performanțele cele mai bune la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA). Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru toate tipurile de iluminare prezente atât în imaginea martor ($F1_{00}$, $F1_{45}$, $F1_{90}$) cât și în imaginea de tip non-referință (Fy_{00} , Fy_{45} , Fy_{90}) și pentru orice domeniu de fază ales, $dfPSLM$.

$dfPSLM$	$dfPSLM$	$CEDxy$	$CEDxy$	Ierarhie
		<i>minim</i>	<i>Ok</i>	$CEDxy$
$[0; \pi/2]$	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	2,587	OK	1
$[0; \pi]$	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	2,361	OK	2
$[0; 1,2\pi]$	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	2,197	OK	3
$[0; 1,4\pi]$	$[-\pi/4; 2\pi]$	1,998	OK	4
$[0; 1,6\pi]$	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	1,937	OK	5
$[0; 2\pi]$	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	1,730	OK	6
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	1,635	OK	7
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	1,090	X	8
	$[-\pi/4; \pi]$	0,943	X	9
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,916	X	10

Tabelul 5.30

Combinățiile dintre domeniile de premodulare, $dfPRE$, din setul II și domenii de fază, $dfPSLM$, care produc performanțele cele mai bune la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA). Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru toate tipurile de iluminare prezente atât în imaginea martor ($F1_{00}$, $F1_{45}$, $F1_{90}$) cât și în imaginea de tip non-referință (Fy_{00} , Fy_{45} , Fy_{90}) și pentru orice domeniu de fază ales, $dfPSLM$.

$dfPSLM$	$dfPSLM$	CED_{xy} minim	CED_{xy} Ok	Ierarhie CED_{xy}
[0; $\pi/2$]	[$\pi/4$; 2π]	2,180	OK	1
[0; π]	[$\pi/4$; $7\pi/4$]	1,463	OK	2
[0; $1,2\pi$]	[$3\pi/4$; 2π]	0,943	X	3
[0; $1,4\pi$]	[$3\pi/4$; $7,4\pi/4$]	0,866	X	4
[0; $1,6\pi$]	[$\pi/4$; $3\pi/2$]	0,859	X	5
[0; 2π]	[$3\pi/4$; $7\pi/4$]	0,807	X	6
	[$3\pi/4$; $5\pi/4$]	0,733	X	7
	[$3\pi/4$; $3\pi/2$]	0,708	X	8
	[$\pi/4$; π]	0,589	X	9
	[$\pi/4$; $5\pi/4$]	0,542	X	10

Modelul de corelator hibrid modificat de autor din domeniul amplitudinii în domeniul fazei, cu transformată comună modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-MFmA), are patru combinații care produc coeficienți de eficiență la detecție minimi, $CED_{\text{minim}} = 1,439 \div 2,114$, mai mari decât cel de prag, pentru ca procesul de recunoaștere de fețe umane să aibă succes pentru orice iluminare laterală (tabelul 5.28) și pentru orice domeniu de modulare de fază, $dfPSLM$, considerate.

Corelatorul hibrid, propus de autor, în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA), pentru setul I are șapte variante de combinații ale domeniilor de premodulare, $dfPRE$, și de fază, $dfPSLM$, care produc coeficienți de eficiență la detecție, $CED_{\text{minim}} = 1,635 \div 2,587$, mai mari decât cel de prag, pentru ca procesul de recunoaștere de fețe umane să aibă succes pentru orice iluminare laterală (tabelul 5.28). Pentru setul II al domeniilor de premodulare acest model de corelator hibrid, (FCHTC-preMFmA), are numai două variante de combinații care generează coeficienți de eficiență la detecție minimi, $CED_{\text{minim}} = 1,463 \div 2,180$, ce sunt foarte apropiați de cei ai modelului (FCHTC-MFmA), spre deosebire de cei pentru setul I care sunt semnificativ mai mari (cu 22.37%).

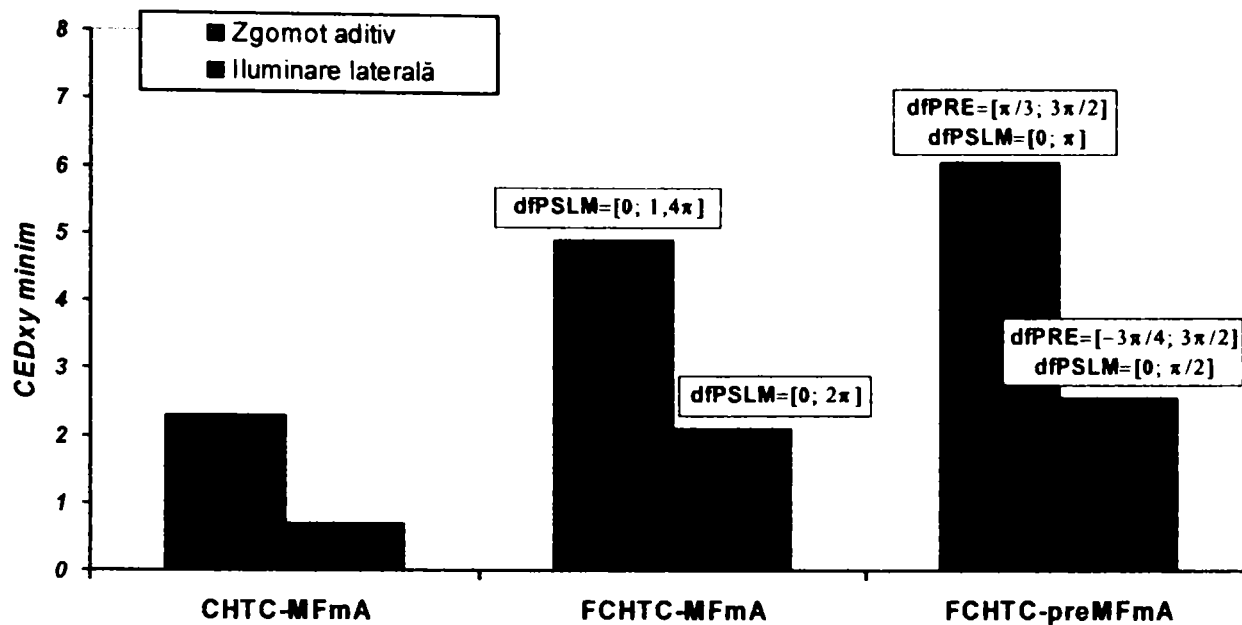


Fig. 5.17 Reprezentarea grafică a celor mai bune performanțe ale procesului de recunoaștere de forme generate cu modelele de corelatoare hibride cu transformată comună analizate pentru robustețea la zgomotul aditiv și comparativ cu robustețea la iluminarea laterală.

Valorile maxime ale coeficientului de eficiență la detecție, $CED_{xy\text{minim}}$ pentru cele trei modele de corelatoare, generate în condițiile perturbației cu zgomot uniform aditiv (tabelele 5.22 - 5.26) sunt de două ori (cu 100%) mai mari decât cele generate în condițiile perturbației cu iluminare laterală (tabelele 5.27-5.30). Se poate afirma astfel că perturbarea, sau deformarea, cu iluminare laterală este mai puternică decât cea cu zgomot uniform aditiv, reducând la jumătate performanțele la recunoașterea de forme pentru corelatoarele hibride cu transformată comună (figura 5.17).

5.6.4 Analiza comparativă a robusteții la rotație a corelatoarelor hibride cu transformată comună în domeniul amplitudinii și modelele propuse în domeniul fazei

Analiza comparativă a performanțelor celor trei corelatoare hibride cu transformată comună pentru robustețea la rotație, urmărește aceiași pași ca și în subcapitolul 5.5. Autorul face observația că cele două modele de corelatoare hibride în domeniul fazei cu transformată comună, se comportă cantitativ și calitativ identic pentru această analiză. Comparăția se reduce, astfel, între corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA) și corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA), propus de autor.

Primul pas al acestei analize este generarea directă prin corelație a coeficientului de eficiență la detecție, $icCEDry$ (introdus astfel, prin abuz de limbaj). S-au considerat imagini de tip non-referință cele prezentate în figura 5.3, pentru care s-au generat direct prin corelație coeficienții de eficiență la detecție de tipul $icCEDry$, reprezentați în figura 5.18, pentru ambele modele de corelatoare de comparat. Pentru analiza performanțelor de recunoaștere de forme se reține valoarea maximă a acestui coeficient, $icCEDry_{maxim} = 0,183$, pentru corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA) și $icCEDry_{maxim} = 0,095$, pentru corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA), propus de autor.

Se remarcă diferența mare (de aproximativ 100%) între cele două valori, $icCEDry_{maxim}$, pentru cele două corelatoare.

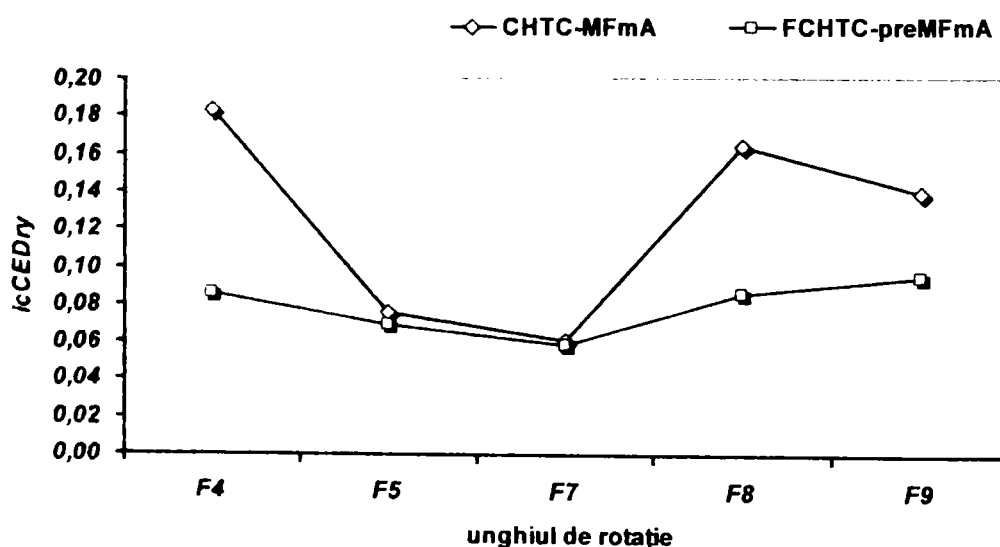


Fig. 5.18 Reprezentarea grafică a coeficientului de eficiență la detecție, $icCEDry$, în funcție de codul imaginii de tip non-referință, pentru procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus) cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA). Parametrii de intrare pentru procesul de corelație sunt: domeniul de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$ și domeniul de premodulare $dfPRE = [-\pi; \pi/2]$.

Asemănător, pentru imaginile martor, s-au generat direct prin corelație coeficienții de eficiență la detecție intra-clasă de tipul $icCEDrx$ și s-au calculat coeficienții de detecție $CEdxy$. Rezultatele numerice ale acestora sunt reprezentate grafic în figura 5.19. Pentru analiza performanțelor la recunoașterea de forme se rețin valorile minime ale acestor coeficienți pentru fiecare corelator în parte: $icCEDrx_{minim} = 0,585$, respectiv $CEdxy_{minim} = 3,203$, corespunzător corelatorului (CHTC-MFmA) și $icCEDrx_{minim} = 0,600$, respectiv $CEdxy_{minim} = 6,327$, corespunzător corelatorului (FCHTC-preMFmA).

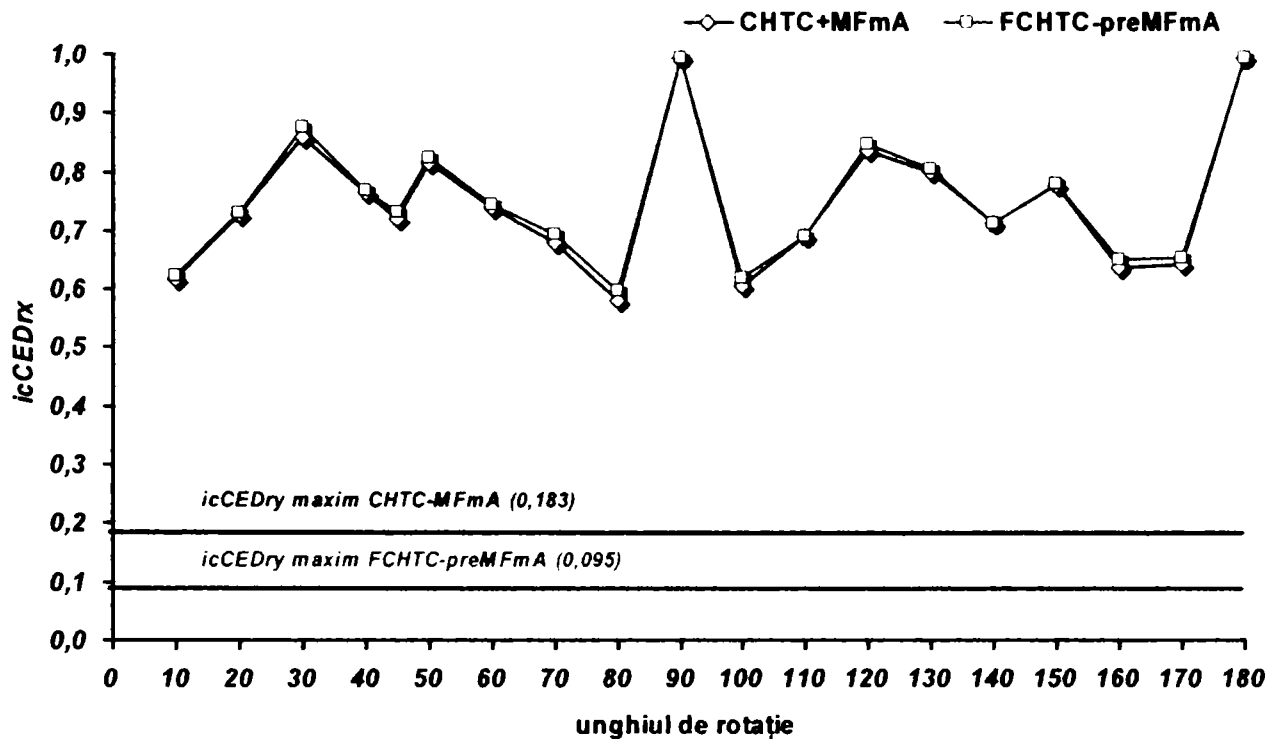


Fig. 5.19 Reprezentarea grafică a coeficientului de eficiență la detecție intra-clasă, $icCEDrx$, în funcție de unghiul de rotație pentru procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus). Liniile orizontale marchează pragul de validare al procesului de corelație. Parametrii de intrare pentru procesul de corelație în domeniul fazei sunt : domeniul de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$ și domeniul de premodulare $dfPRE = [-\pi; \pi/2]$.

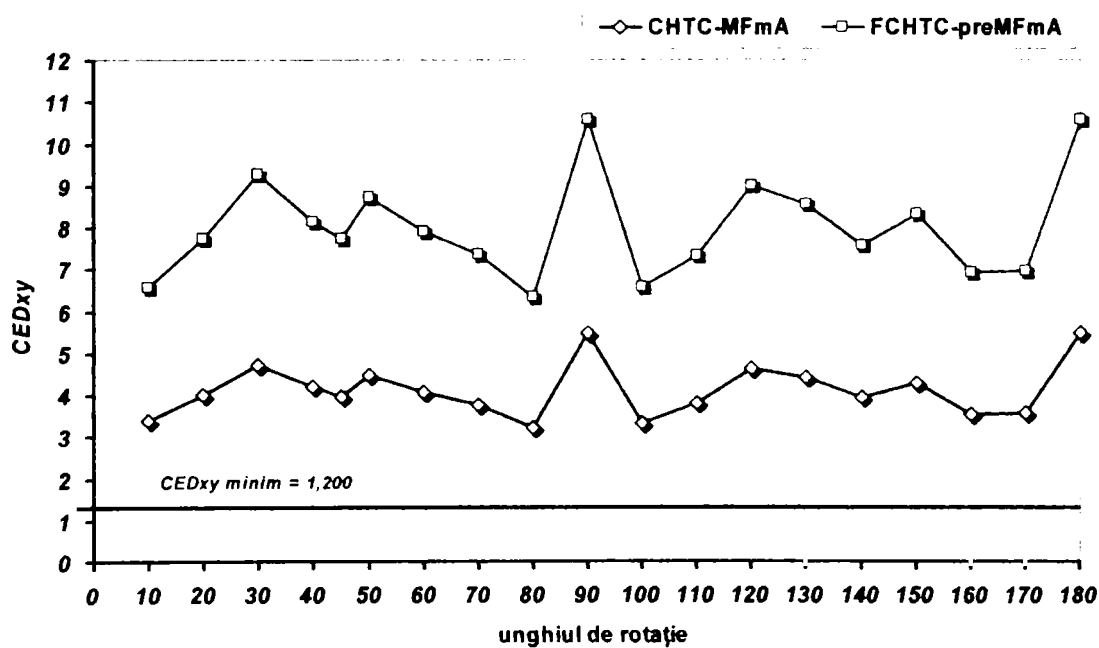


Fig. 5.20 Reprezentarea grafică a coeficientului de eficiență la detecție, $CEDxy$, în funcție de unghiul de rotație pentru procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus). Linia roșie orizontală marchează pragul de validare al procesului de corelație. Parametrii de intrare pentru procesul de corelație în domeniul fazei sunt : domeniul de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$ și domeniul de premodulare $dfPRE = [-\pi; \pi/2]$.

Condiția ca procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus) să fie robust la rotație este dată de relația (5.6). Această condiție presupune ca valoarea minimă a coeficientului $icCEDrx_{\text{minim}}$ să fie mai mare decât valoarea maximă a coeficientului $icCEDry_{\text{maxim}}$, fapt îndeplinit cu succes pentru ambele corelatoare hibrid cu transformată comună. Coeficientul care validează complet acest lucru este coeficientul de eficiență la detecție calculat aici pentru imaginile martor și cea de tip non-referință, $CEDxy$. Valoarea minimă a acestui coeficient trebuie să depășească valoarea de prag, $CED_{\text{prag}} = 1,200$, care validează procesul de recunoaștere. Pentru corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA) avem $CEDxy_{\text{minim}} = 3,203$, iar pentru corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA), coeficientul de eficiență la detecție are valoarea $CEDxy_{\text{minim}} = 6.327$. Aceste două valori comparate duc la concluzia că modelul de corelator propus de autor are valoarea coeficientului de eficiență la detecție $CEDxy_{\text{minim}}$ dublă față de cel în domeniul amplitudinii (figura 5.20).

Reprezentarea grafică a dependenței valorilor coeficienților de eficiență la detecție, $CEDxy$, de unghiul de rotație (figura 5.20) scoate în evidență faptul că modelul de corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA), propus de autor, este de două ori (*cu 100%*) mai robust la rotație decât corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA).

5.8 Concluzii

Analiza comparativă a performanțelor la recunoașterea de forme efectuată în acest capitol pentru modelele de corelatoare optice și hibride cu transformată comună demonstrează că modelul original propus de autor, corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat și cu filtru modulat în amplitudine, (FCHTC-preMFmA), are performanțele la recunoașterea de forme cele mai mari.

Coeficienții de eficiență la detecție intra-clasă, $icCEDrx$, generați de acest model de corelator, (FCHTC-preMFmA), sunt mai mari sau cel puțin apropiați de cei ai corelatorului hibrid în domeniul

amplitudinii cu transformată comună modificat cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA) și corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-MFmA).

Coeficienții de eficiență la detecție „inter-clasă”, CE_{Dxy} , generați de acest model sunt mult mai mari decât cei ai corelatorului hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA) și decât cei generați de corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-MFmA) – modificat de autor.

Aceste proprietăți ale corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA) susțin afirmația autorului că acest model are gradul cel mai mare de generalitate. Existența celor doi parametri de intrare: domeniul de fază, $dfPSLM$ - comun și celorlalte corelatoare în domeniul fazei - dar mai ales a domeniului de premodulare, $dfPRE$, oferă un grad de libertate suplimentar. Domeniul de premodulare poate să ia valori pe un domeniu larg care ar putea îngreuna utilizarea acestui avantaj. Forma funcției prin care se realizează transformarea de premodulare – anume, funcția *sinus* – facilitează alegerea domeniului de premodulare prin existența punctelor particulare de minim, de maxim și de inflexiune care le ia această funcție.

Folosirea anumitor valori ale domeniului de premodulare, $dfPRE$, pentru modelul de corelator hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, (FCHTC-preMFmA), pot îmbunătăți performanțele de „recunoaștere” a imaginilor martor (derivate din imaginea de referință prin deformări) ca fiind componente ale clasei de referință. Aceleași valori ale domeniului de premodulare, $dfPRE$, conferă însă performanțe mult mai mari (figura 4.26, 4.27) în discriminarea imaginilor martor de cele de tip non-referință, comparativ cu performanțele celorlalte modele de corelatoare hibride cu transformată comună.

Afirmațiile de mai sus sunt valabile, pentru corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA), și în cazul perturbațiilor cu zgomot uniform aditiv, iluminarea laterală sau rotație; perturbații la care acest model de corelator este mai robust decât celelalte analizate în lucrare.

Capitolul 6.

Aplicații

6.1 Aplicații ale recunoașterii de forme în determinarea identității persoanelor după amprente digitale

Capitolele anterioare au la bază analiza comparativă a performanțelor corelatoarelor hibride cu transformată comună pentru fețe umane. Acestea sunt obiecte care dau imagini ce conțin suprafețe relativ extinse în care distribuția intensității luminoase este continuă, fără periodicități. Procesul de corelație și implicit cel de recunoaștere de forme nu prezintă dificultăți pentru acest tip de obiecte.

Ampretele digitale ale omului dau imagini care conțin suprafețe foarte înguste cu distribuție relativ continuă a intensității luminoase. Aceste obiecte au o distribuție cuasi-periodică a reliefului digital, ceea ce face ca diferențierea acestora pentru indivizi diferiți să fie o problemă atât pentru ochiul uman cât și pentru corelația optică sau hibridă [122,123].

Tehnica pe care se bazează detecția și clasificarea (recunoașterea) amprentelor digitale în criminalistică este aceea de a identifica punctele caracteristice ale fiecărei amprente digitale ale unui individ. Aceste puncte caracteristice se constituie din zone de intersecție ale liniilor reliefului digital sub forme particulare, clasificate după un standard internațional. Dificultățile care apar în identificarea amprentelor digitale au mai multe cauze:

- amprenta realizată prin amprentarea reală, la locul faptei, nu conține destule puncte caracteristice pentru validarea în instanța judecătorească,
- amprenta realizată prin amprentarea reală, la locul faptei, conține zgomot aditiv puternic care degenerează atât de mult punctele caracteristice încât precizia clasificării acestora nu este suficientă,

- amprenta etalon realizată prin amprentarea standard, nu este corect produsă de către agentul criminalist.

Relieful digital care conține linii protuberante prin presare generează o amprentă digitală. Suprafața degetului uman nu este plană, ci curbă, în consecință lățimea liniilor din amprentă va fi mai mare pentru zona centrală și mai mică pentru zonele exterioare în cazul unei amprentări nesupervizate (fără un standard). Amprentarea corectă (standard), însă, va elimina suficient această diferență a lățimilor în cazul standard. Amprentarea la locul faptei este produsă fără a ține cont de aceste restricții standard; mai mult ea poate duce la o amprentă ce conține numai o parte a amprentei standard sau presiunea degetului pe suprafață este mult diferită decât cea standard ceea ce duce la lățimi diferite ale liniilor.

Aspectele tehnice ale practicii criminalistice ar duce la concluzia că metoda clasică de clasificare a amprentelor după punctele caracteristice este mult mai bună și mai rapidă, mai ales dacă se face cu ajutorul calculatorului. Cu toate acestea atunci când amprentele din teren, de la locul faptei, diferă semnificativ de cele standard din baza de date, se recurge și la alte metode de identificare. Una din aceste metode utilizate internațional este și corelația optică. Avantajul identificării amprentei digitale prin corelație optică este acela că această metodă ține cont de *distribuția relativă* a liniilor ce constituie amprenta digitală, ceea ce face posibilă și compararea unor amprente nestandardizate și chiar a unor fragmente de amprente.

Subcapitolul de față are ca scop studiul comparativ al performanțelor la recunoașterea de forme a corelatoarelor hibride cu transformată comună având ca obiecte (imagini) de lucru amprente digitale umane [95]. Și în acest caz s-au urmărit performanțele atât pentru discriminabilitatea dintre amprentele diferiților indivizi (clase diferite de amprente), cât și pentru „recunoașterea” amprentelor digitale ale aceluiași individ ca fiind din aceeași clasă cu referința. Setul imaginilor care alcătuiesc clasa de referință este redat în figura 6.1. Cele trei imagini din clasa referinței sunt codificate în felul următor: imaginea cu codul R1 reprezintă imaginea de referință rotită spre stânga, imaginea cu codul R2 este o amprentă ce conține o parte din imaginea de referință, iar imaginea cu codul R3 este imaginea de referință cu contrast diferit. Aceste trei imagini sunt asociate practic unor situații reale din teren, iar amprentele din figura 6.2 reprezintă imaginile de tip non-referință ale aceluiași deget ca și cele din clasa referinței dar de la trei indivizi diferiți. Aceste imagini fac parte din baza de date de amprente digitale SFINGE (*Synthetic FINGERprint GEnerator*) ale Biometrics Systems Lab, Department of Computer Science, University of Bologna, Cesena – Italy. Dimensiunile acestor imagini sunt de 240x336 de pixeli în 256 nuanțe de gri, iar pentru a construi imaginea comună de intrare de 1024x1024 de pixeli (fig. 6.3 a, b) ele au fost decupate pe calculator la 240x256 de pixeli.

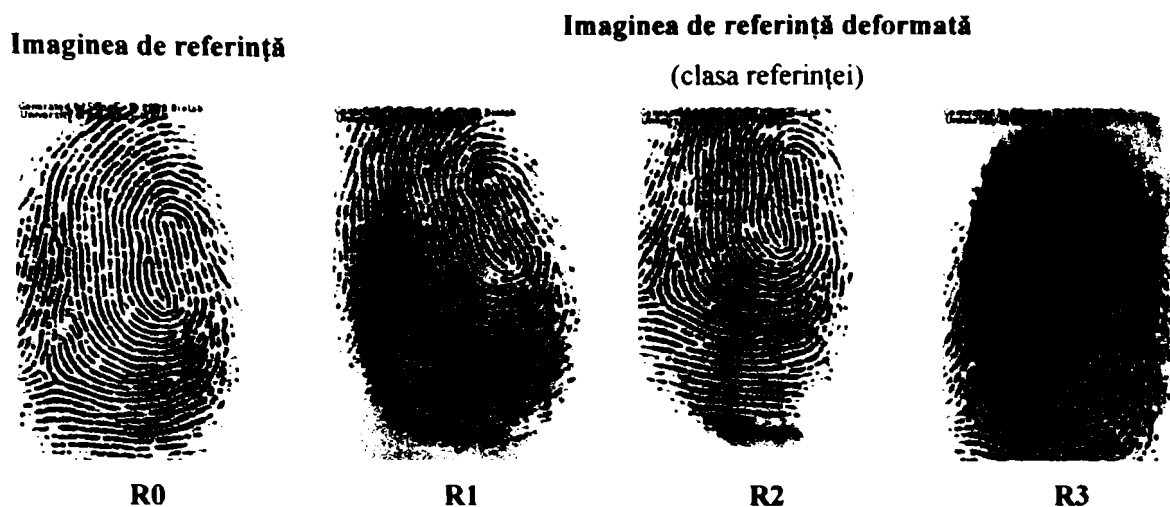


Fig. 6.1 Ampretele digitale care constituie clasa de referință.

Imaginile comune din figura 6.3 ilustrează două situații care se pot ivi în procesul de identificare a amprentelor digitale și implicit a identității unui individ:

- situația (S1), în care o imagine de tip non-referință este însoțită de alte trei imagini din clasa referinței, figura 6.3 a;
- situația (S2), în care o imagine din clasa referinței este însoțită de alte trei imagini de tip non-referință, figura 6.3 b.

În ambele situații a fost luată doar o parte din imaginea de referință (care conține doar câteva puncte caracteristice) pentru a fi referință în imaginea comună de intrare.

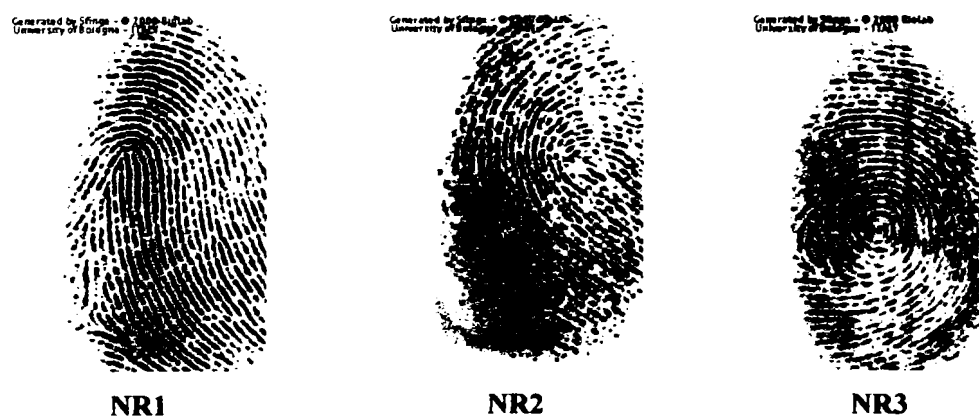


Fig. 6.2 Ampretele digitale care constituie imaginile de tip non-referință

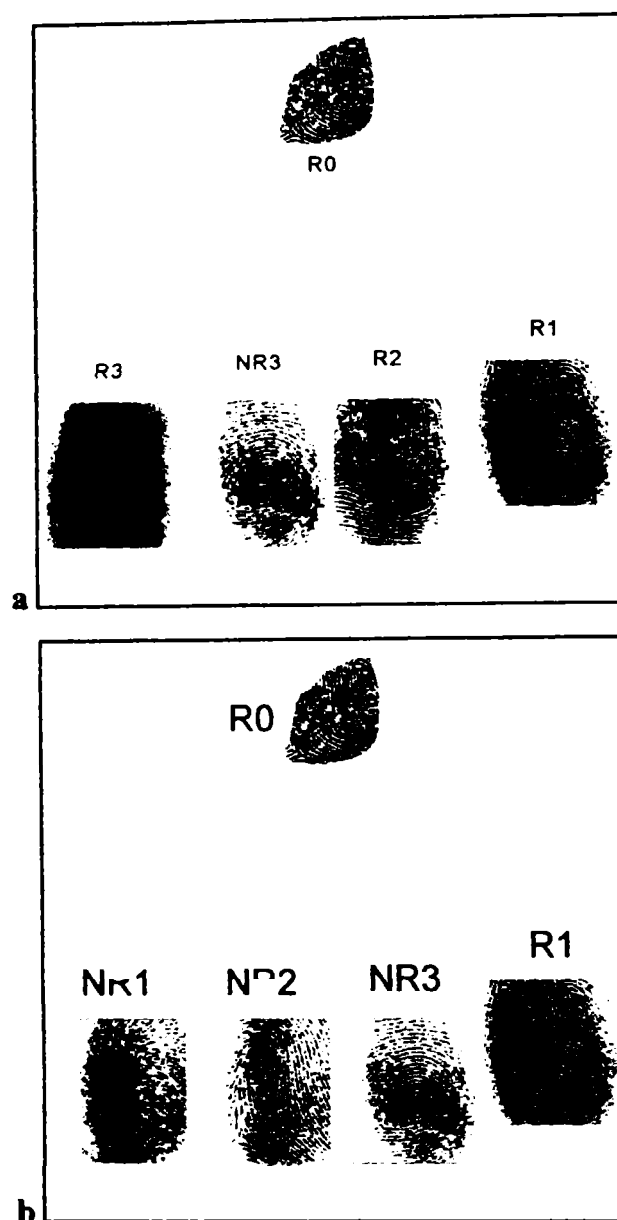


Fig. 6.3 Imaginile comune de intrare:

- a) pentru situația (S1) - 3 imagini din clasa referinței și o imagine de tip non-referință,
- b) pentru situația (S2) - 3 imagini de tip non-referință și o imagine din clasa referinței.

Rezultatele procesului de corelație, în situația (S1), pentru corelatoarele hibride cu transformată comună studiate sunt redată în figura 6.4. Liniile de corelație din planul de ieșire al corelatorului hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat și cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA), figura 6.4 a, demonstrează că acest corelator nu reușește să discrimineze amprentele indivizilor diferiți. Corelatoarele hibride în domeniul fazei cu transformată comună, (FCHTC-MFmA) și (FCHTC-preMFmA), reușesc să discrimineze amprentele indivizilor diferiți.

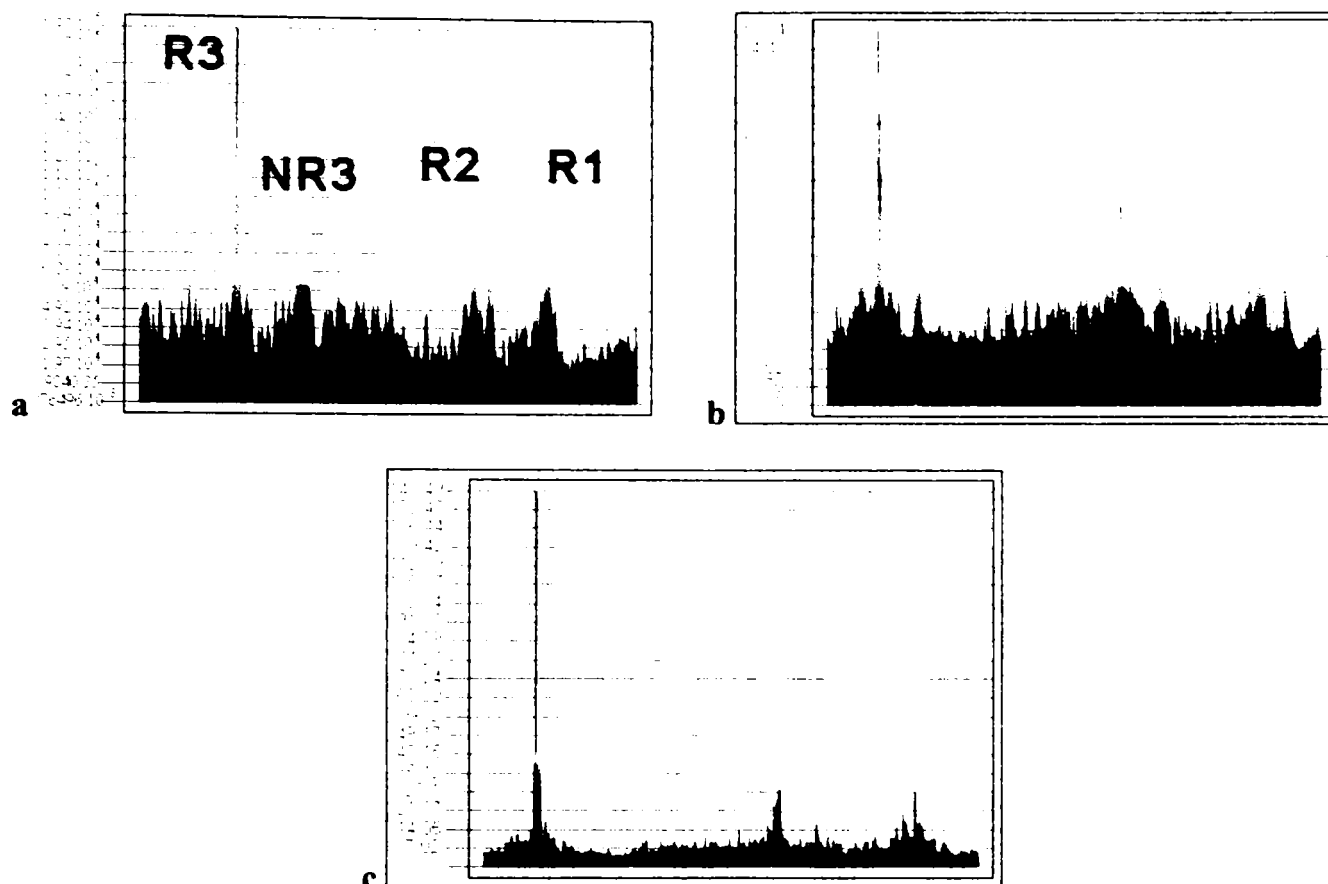


Fig. 6.4 Reprezentarea grafică a unei linii de corelație, în situația (S1), pentru:

- a – corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA),
- b – corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-MFmA),
- c – corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA).

Rezultatele procesului de corelație, în situația (S2), pentru corelatoarele hibride cu transformată comună studiate sunt redată în figura 6.5. Liniile de corelație din planul de ieșire ale celor trei corelatoare hibride cu transformată comună, (CHTC-MFmA) - figura 6.5 a, (FCHTC-MFmA) - figura 6.5 b și (FCHTC-preMFmA) – figura 6.5 c, demonstrează că în această situație ele reușesc să discrimineze între amprentele indivizilor diferiți.

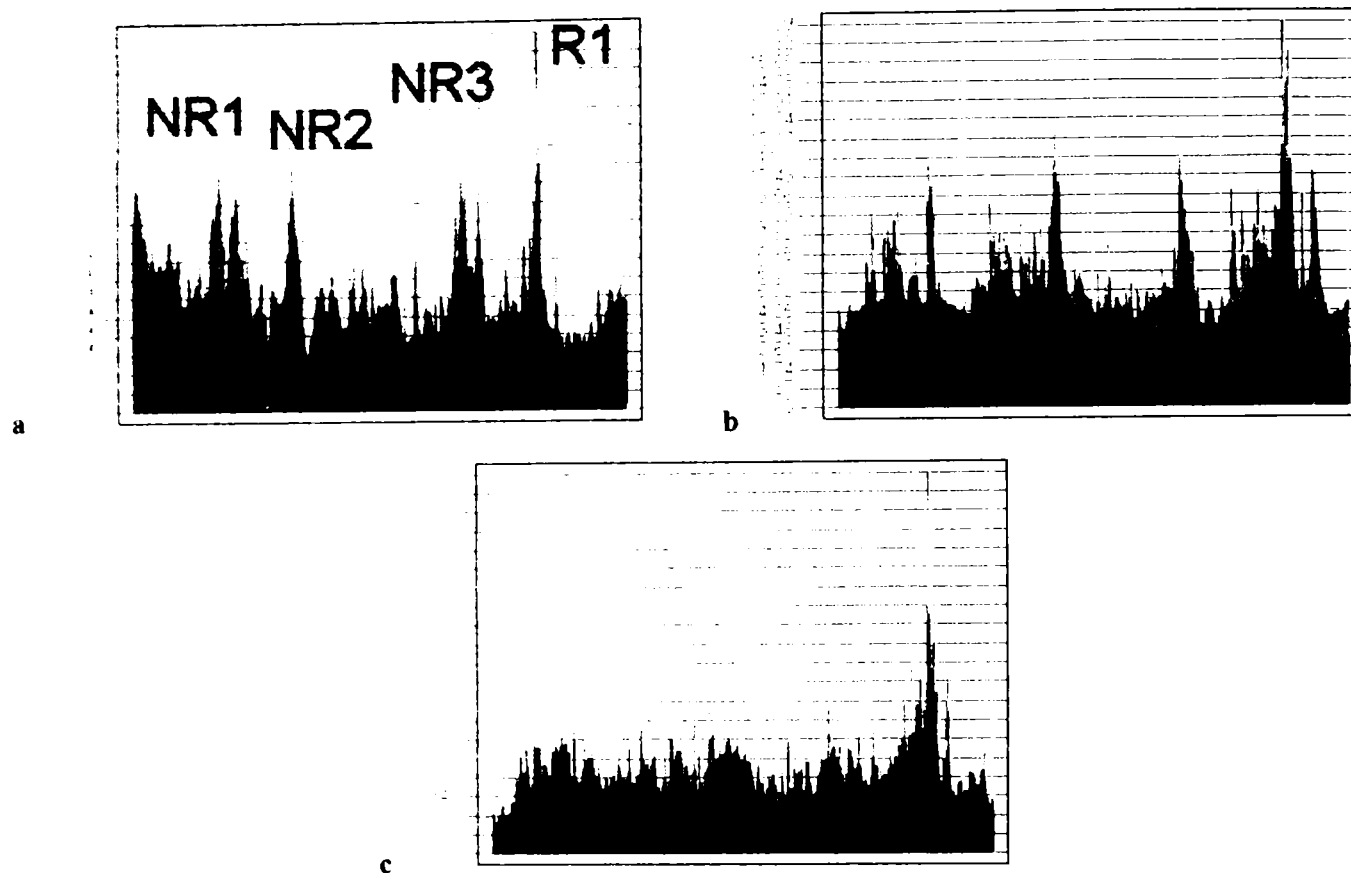


Fig. 6.5 Reprezentarea grafică a unei linii de corelație, în situația (S2), pentru:

- a – corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA),
- b – corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-MFmA),
- c – corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA).

Analiza comparativă, în situația (S1), a performanțelor la recunoașterea de forme pentru cele trei corelatoare hibride cu transformată comună este prezentată numeric în tabelul 6.1 și grafic în figura 6.6.

Tabelul 6.1

Rezultatele numerice ale procesului de corelație în situația (S1), pentru cele trei modele de corelatoare hibride cu transformată comună studiate.

<i>CED</i>	CHTC-MFmA	FHTC-MFmA $dfPSLM = [0; \pi]$	FHTC-preMFmA $dfPSLM = [0; \pi]$ $dfPRE = [3/4\pi; 2\pi]$
R3	1,9830	2,1084	9,9255
NR _x (<i>x</i> = 1, 2, 3)	1,0000	1,0000	1,0000
R2	0,8913	1,4193	5,1473
R1	0,9227	1,1077	2,2236

Valorile coeficientului de eficiență la detecție, CED , sunt cele mai mici dintre cele trei cazuri ale situației (S1), când avem NR_x și $x = 1, 2, 3$. Acest coeficient, $CED = \frac{IMA}{IMC}$, a fost calculat astfel încât intensitatea maximului de corelație, IMC , a fost luată pentru imaginile de tip non-referință (amprentele celor trei indivizi diferiți), iar intensitatea maximelor de autocorelație au fost luate pentru imaginile din clasa referinței (amprentele aceluiași individ).

Performanțele cele mai bune (tabelul 6.1) le are corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA). Aici trebuie remarcate următoarele, pentru situația (S1): imaginea R1, care reprezintă referința deformată prin rotație spre stânga, pune cele mai mari probleme procesului de recunoaștere de forme cu oricare din cele trei corelatoare hibride cu transformată comună. Imaginea cu codul R3, care reprezintă referința cu contrast diferit este cea pentru care procesul de recunoaștere are problemele cele mai mici, deci un coeficient CED mai mare. Imaginea cu codul R2, conține o parte a imaginii de referință, este recunoscută fără mari probleme de către cele două modele de corelatoare hibride în domeniul fazei cu transformată comună, deoarece referința din imaginea comună de intrare este o partiție a aceleiași imagini de referință. Acesta este motivul pentru care autorul a ales o partiție a ampretei R0, de referință, și nu amprenta completă, pentru a relaxa procesul de recunoaștere de amprente.

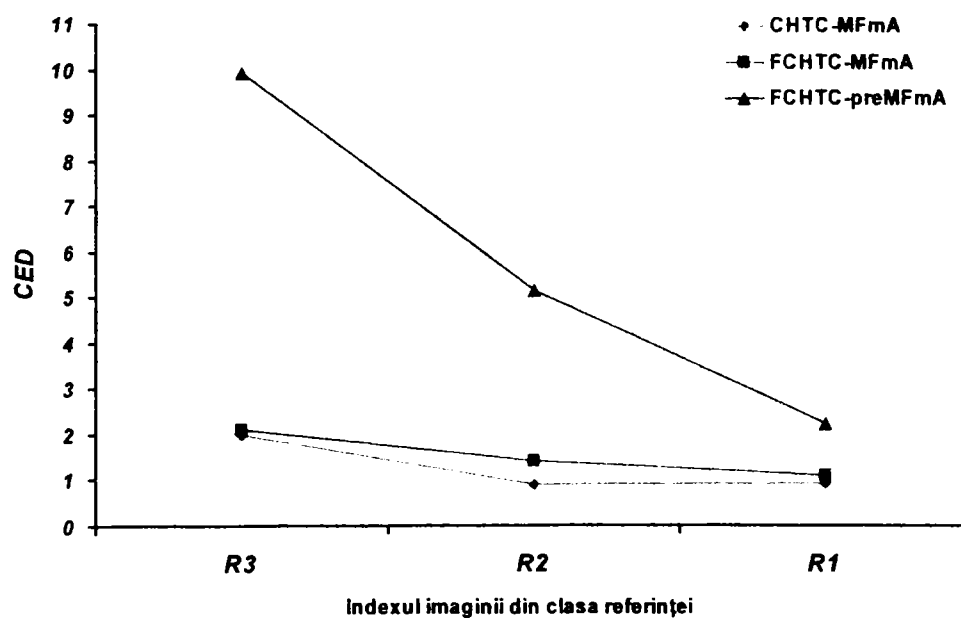


Fig. 6.6 Reprezentarea grafică a rezultatelor procesului de corelație în situația (S1), pentru cele trei modele de corelatoare hibride cu transformată comună studiate.

Rezultatele performanțelor la recunoașterea de forme pentru situația (S2) sunt prezentate doar pentru cazul în care imaginea din clasa referinței este cea cu codul R1, datorită faptului că în situația (S1) această imagine a pus problemele cele mai mari în procesul de corelație.

Corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (CHTC-MFmA), are coeficientul $CED = 1,290$, aproape de valoarea de prag, $CED_{prag} = 1,200$. Corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-MFmA), are coeficientul $CED = 1,391$ și este la o distanță confortabilă de valoarea de prag, fiind mai performant la recunoașterea de forme decât cel în domeniul amplitudinii.

Table 6.2

Rezultatele numerice ale procesului de corelație în situația (S2), pentru cele trei modele de corelatoare hibride cu transformată comună studiate.

<i>IMC</i>	<i>IMA</i>	CHTC-MFmA	FHTC-MfmA $d\text{PSLM} = [0; \pi]$	FHTC-preMFmA $d\text{PSLM} = [0; \pi]$ $d\text{PRE} = [3/4\pi; 2\pi]$
<i>NR1</i>		93359	10.907	12.594
<i>NR2</i>		85432	12.498	13.212
<i>NR3</i>		101874	11.845	13.381
<i>RI</i>		131402	17.386	35.582
<i>CED</i>		1.290	1.391	2.659

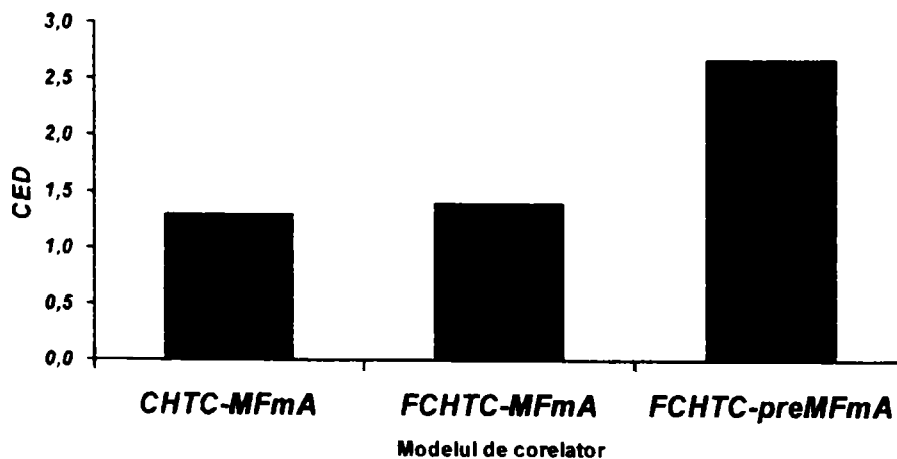


Fig. 6.7 Reprezentarea grafică a rezultatelor procesului de corelație în situația (S2), pentru cele trei modele de corelatoare hibride cu transformată comună studiate.

Corelatorul cu performanțele cele mai bune la recunoașterea de forme, este corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA), având coeficientul CED dublu față de celelalte două modele (tabelul 6.1 și Fig. 6.2). Acest model de corelator propus de autor, este deci recomandat pentru realizarea procesului de recunoaștere de forme și în cazul altor tipuri de obiecte, cum ar fi amprente digitale, nu numai pentru cele cu suprafețe extinse de intensitate luminoasă relativ constantă, cum sunt fețele umane.

6.2 Aplicații ale recunoașterii de forme în identificarea gândacilor de scoarță după arhitectura galeriilor larvare

6.2.1 Introducere

Unul din fenomenele cele mai interesante legate de exploatarea resurselor de hrană și habitat reprezentate de arbori, este săparea de către insectele xilobionte a sistemelor de galerii. Aceste insecte creează habitate protejate pentru dezvoltarea și hrănirea în special a stadiilor tinere. Resursele de hrană sunt reprezentate în mai mică măsură de floem utilizat mai ales în dieta adulților și în mai mare parte de ciuperci cultivate în galeriile larvare, o hrană cu un conținut ridicat de compuși ai azotului. La insectele din familia *Scolytidae*, cultivarea ciupercilor de ambrozie este rezultatul unui îndelungat proces de co-evoluție în care între parteneri se stabilește o relație simbiotică astfel încât diseminarea ciupercilor este asigurată de insectă iar aceasta beneficiază de o hrană cu un conținut nutritiv superior în stadiile larvare. Astfel, insectele de scoarță formează grupe funcționale sau bresle care exploatează arborele ca resursă de hrană și habitat în componentele sale cel mai greu accesibile (scoarță și lemn) și cele mai sărace în compuși ai azotului.

Arhitectura sistemelor de galerii este specie-specifică ceea ce permite identificarea insectelor după aspectul galeriilor. La familia *Scolytidae* sistemele de galerii cuprind: camere nupțiale la speciile poligame, galerii mamă, galerii larvare, camere de împupare și eventual, galerii corespunzând roaderilor de maturare a adulților tineri. În identificarea insectelor după aspectul galeriilor au importanță: orientarea galeriilor față de trunchiul arborelui, forma și dispunerea galeriilor mamă la insectele poligame, forma numărul și dispunerea galeriilor larvare, poziția camerelor de împupare, lungimea relativă a galeriilor sau a întregului sistem de galerii. În general, aceste elemente sunt suficiente pentru identificare pe baza determinatoarelor și atlaselor care dau o imagine medie, uneori schematică a galeriilor. Acestea fiind săpate de adulți și de larve au o dispunere spațială care este adaptată particularităților de textură și biochimie a țesuturilor gazdei, a stării de sănătate și rezistență a acesteia, de posibilitățile de aerare a galeriilor, de cerințele în cultivare a speciilor de ciuperci asociate. Distribuția spațială a galeriilor mai depinde de trăsături caracteristice ale populației de insecte cum este fecunditatea, densitatea de ovopozitare, competiția în interiorul familiei. S-a constatat o corelație liniară pozitivă între lungimea galeriilor mamă și numărul de nișe în care femela depune ouă, fiind totodată o caracteristică de specie. Pe de altă parte, densitatea de ovopozitare descrește pe măsura creșterii presiunii populaționale. În general, sistemele de galerii la insectele de scoarță cum sunt *Ips*

typographus L. și *Hylesinus fraxini* Panzer sunt distribuite uniform, minimum de distanță între sisteme fiind de 2,5 cm la *Ips typographus*. Distanțele dintre galeriile larvare determină rata de supraviețuire a larvelor și ciupercilor cultivate pentru hrana acestora. La *Ips typographus* de altfel, competiția interspecifică se reflectă în lungimea galeriilor, dat fiind descreșterea greutateii medii larvare pe măsura creșterii competiției. Galerile larvare sunt uniform distribuite în raport cu galeriile mamă în condițiile unei competiții intraspecifice și interspecifice scăzute astfel încât modificările de arhitectură a galeriilor se produc mai ales în timpul fazelor eruptive a dinamicii populaționale sau în atacurile mixte. În condiții de echilibru, această grupă funcțională de insecte atacă arbori debilitați sau susceptibili care sunt în număr restrâns în arboretele ce nu au fost supuse unei forme de perturbare. De altfel, evitarea competiției pentru habitat și resurse de hrană precum și controlul densității de atac se realizează prin emiterea de antiferomoni și prin partiția spațială a habitatului în funcție de diametrul trunchiului și grosimea scoarței. Ceea ce se constată prin observarea sistemelor de galerii atât la populații în latență cât și la cele eruptive, este păstrarea unor elemente invariante de structură a galeriilor care le fac recunoscutibile în pofida unei variabilități generale marcante.

Analiza de imagine pune la dispoziție o metodă rapidă de identificare și comparare a sistemelor de galerii în baza unei bănci de imagini și a unor comparatoare construite plecând de la modele preluate din natură. Corelatoarele exploatează acele segmente de imagine care rămân invariante indiferent de variațiile impuse de factori modelatori biotici și abiotici. Metoda de analiză a imaginilor generate de galeriile larvare este recunoașterea de forme.

Studiul din acest subcapitol are ca scop aplicarea modelului corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-MFmA) în identificarea gândacilor de scoarță după galeriile larvare ale acestora [124]. Subcapitolul anterior a realizat această comparare dintre performanțele celor trei modele de corelatoare hibride cu transformată comună pentru același tip de obiecte – amprente digitale, cu suprafețe înguste și periodice cu intensitate luminoasă relativ constantă – astfel în acest subcapitol nu se va mai prezenta acest studiu comparativ.

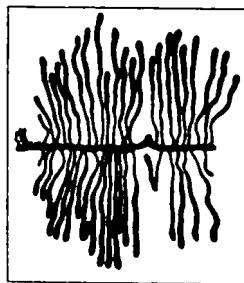


Fig. 6.8 Imaginea digitizată a galeriilor larvelor de *Hylesinus fraxini* din care se va realiza imaginea de referință .

Imaginea digitizată din fig. 6.8 a fost modificată în imaginea comună de intrare (fig. 6.12) în corelator pentru a reprezenta referința generalizată singulară care să constituie „etalonul” sau „amprenta vizuală efectivă” necesară caracterizării cât mai generale a galeriilor larvare de *Hylesinus fraxini*. Pentru a recunoaște galeriile larvare de *Hylesinus fraxini* indiferent de gradul de variabilitate natural s-a ales o geometrie preluată prin amprentare pe folie de calc care a fost digitizată prin scanare după care s-au decupat acele părți care nu constituie generalul. Anume, s-a reținut partea învecinată cu galeria mamă (fig. 6.9 a, redată cu culoare verde) din galeriile larvare și se ignoră partea marginală a acestora deoarece acesta este cel mai probabil să fie afectată de variabilitatea naturală (fig. 6.9 a, redată cu culoare roșie). Variabilitatea naturală se datorează competiției intraspecifice între larve pentru spațiu și resurse. Suplimentar se elimină la jumătate din ramurile laterale pentru că unele galerii larvare posedă ramuri laterale mai dese iar unele mai rare (fig. 6.9 a). Dacă referința generalizată ar conține ramuri mai dese atunci nu ar mai putea să fie utilizată la recunoașterea galeriilor cu ramuri mai rare. Se mai poate observa că forma exterioară a referinței generalizate singulare este eliptică deoarece forma exterioară tipică a unei galerii larvare de *Hylesinus fraxini* este eliptică. Astfel referința generalizată singulară din Fig. 6.9 b, este cea cu care în continuare se va testa prin recunoaștere de forme cu corelatorul ales apartenența la un gen sau altul de gândaci de scoarță și a altor geometrii larvare digitizate și componente a imaginilor scenei.

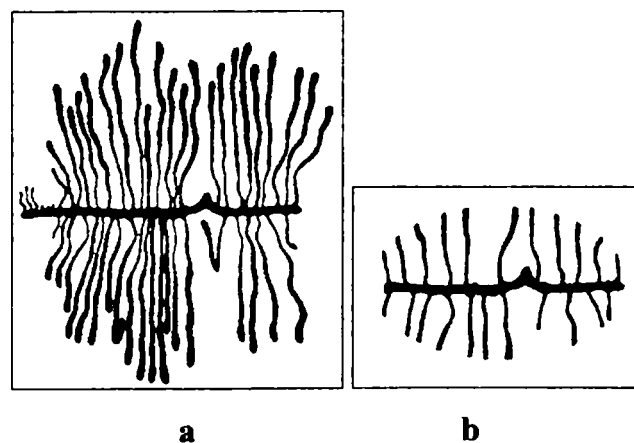


Fig. 6.9 Referința generalizată singulară

- a – ilustrarea selecției referinței generalizate singulare din geometria larvară redată în fig. 1 (culoarea roșie este utilizată pentru părțile eliminate din referință, iar cea verde pentru părțile reținute în referință)
- b – rezultatul final al selecției, referința generalizată singulară

Procesul de recunoaștere de forme este analog unui proces de diagnosticare și tehnicile moderne de diagnosticare utilizează mai multe variante de analiză (în cazul de față cu mai multe tipuri de referințe), fapt pentru care s-au ales două tipuri de referințe generalizate, din care una prezentată în Fig. 6.13 b. Cea de-a doua referință constă din fuziunea (analogul metodei „data fusion”) unui set de referințe generalizate din geometrii diferite (fig. 6.10 a, b, c, d, e, f). Alegerea acestei referințe

generalizate fuzionate (Fig. 6.10 h) permite lărgirea toleranței procesului de corelație la variabilitatea naturală a geometriilor galeriilor larvare ce pot fi recunoscute fără a pierde selectivitatea metodei de corelație.

Motivul pentru care trebuie realizat procesul de recunoaștere cu două tipuri de referințe este că obiectele din natură nu sunt standardizate ca și cele artificiale. Ele comportă o variabilitate naturală mare fapt ce impune ridicarea preciziei de clasificare a acestor obiecte naturale (galerii larvare, de exemplu). Prin utilizarea unor tipuri de referințe diferite se realizează atât o toleranță la variabilitatea naturală cât și o precizie ridicată la discriminarea între galeriile larvare a genurilor diferite. Referința generalizată fuzionată produce o toleranță mare a procesului de recunoaștere de forme, adică recunoaște galeriile larvare de același gen, dar care au o variabilitate ridicată între ele. Referința generalizată simplă produce un grad mai ridicat de precizie a procesului de recunoaștere de forme la discriminarea galeriilor larvare a doua genuri diferite. În lucrarea de față s-a realizat compararea numai între galeriile larvare a două genuri diferite (fig. 6.12) pe motivul că dacă procesul de recunoaștere de forme – prin care se subînțelege procesul de corelație împreună cu modelul de corelator, alese de autorul – reușește să facă recunoașterea în cadrul aceluiași gen, dar nu discriminează între două genuri diferite, atunci această metodă de clasificare aleasă nu are sens. Dacă este îndeplinită condiția de discriminabilitate între două genuri diferite atunci cea de toleranță la variabilitatea naturală în cadrul aceluiași gen este automat îndeplinită.

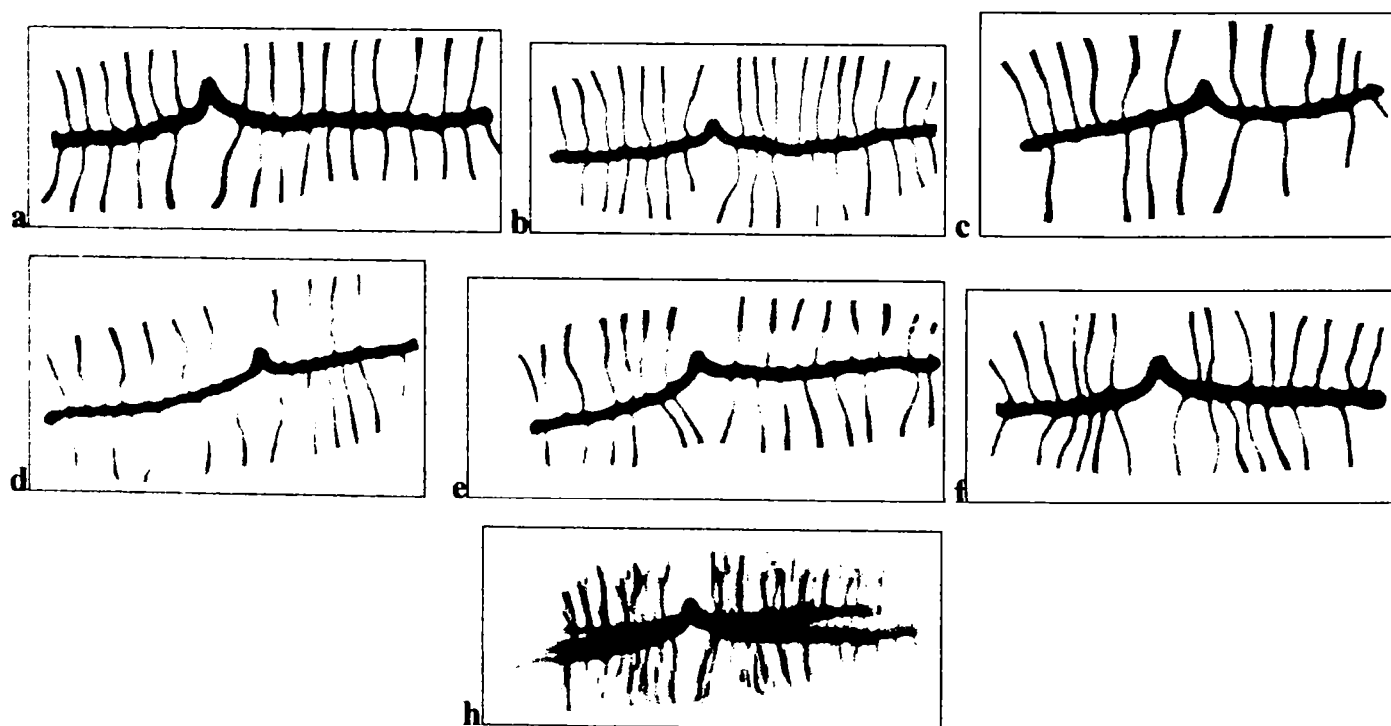


Fig. 6.10 Referința generalizată fuzionată

a, b, c, d, e, f – setul de șase referințe generalizate singulare alese pentru fuzionare

h – referința generalizată fuzionată

6.2.2 Metoda practică de amprentare a galeriilor larvare

Pentru analiza de imagine, amprente ale sistemelor de galerii la speciile *Ips typographus* și *Hylesinus fraxini* au fost obținute de pe scoarțe (de molid pentru *Ips typographus*) sau amprente pe alburn (la frasin pentru *Hylesinus fraxini*). Ampretele au fost copiate pe hârtie după principiul ștampilei prin aplicare de tuș negru pe suprafața ocupată de sistemul de galerii. Pe hârtie apare negativul amprenteii care este scanat și se depozitează în banca de date inițiale. Acestea au fost scanate la rezoluția de 600 dpi cu o preprocesare de contrast și luminozitate astfel încât fondul să fie perfect alb. Au rezultat imagini digitizate de dimensiuni foarte mari în 256 de nivele de gri. Acestea au fost reduse la dimensiuni sub 256x256 de pixeli (fig. 6.8, 6.9 a) astfel ca imaginile comune să fie de 512x512 de pixeli (fig. 6.12), dimensiuni care să nu necesite un timp de procesare mai mare de două minute.

6.2.3 Rezultate și concluzii

Din cauza spațiului prea mare pe care l-ar ocupa reprezentarea tuturor rezultatelor proceselor de recunoaștere de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA) s-au selectat doar câteva rezultate obținute pentru cele zece galerii larvare alese, tabelele 6.3 și 6.4. Rezultatele complete pentru coeficientul *CED* ce caracterizează calitatea procesului de corelație și recunoaștere – implicit și al clasificării dorite - sunt date redate grafic în fig. 6.14.

Aceste două seturi de rezultate au coeficientul *CED*, ce măsoară calitatea procesului de recunoaștere, pentru toate cazurile, supraunitar (chiar mai mare decât $CED_{prag} = 1,200$). În concluzie pentru toate geometriile galeriilor larvare alese, geometrii care după cum se poate observa sunt extrem de diferite, corelatorul propus posedă un maxim de corelație mai mare (adică un *CED* supraunitar) decât cel al geometriei larvare *Ips typographus* (redată în dreapta imaginii din fig. 6.12) care face parte dintr-un alt gen. Mai mult, din fig. 6.14 se observă că dacă pentru recunoașterea de forme cu referința generalizată singulară coeficientul *CED* este mai mic pentru anumite galerii larvare, cu referința generalizată fuzionată acest coeficient este mai mare, și invers. Ca urmare cele două referințe generalizate realizează rezultate complementare. Din acest motiv pentru o mai mare precizie, se recomandă utilizarea ambelor referințe generalizate pentru formularea concluziilor de clasificare prin recunoaștere de forme (a se vedea ambele rezultatele pentru galeria cu indexul GL6).

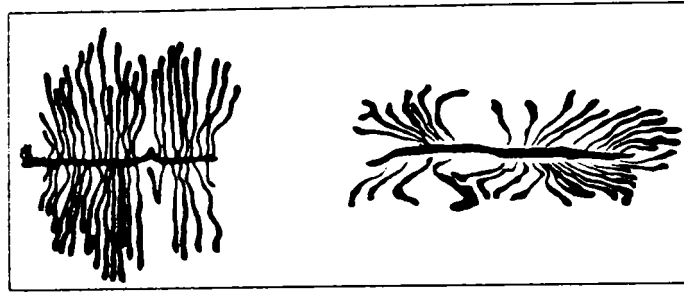


Fig. 6.11 Imaginea digitizată a scenei compusă din imaginile a două tipuri de galerii larvare din genuri diferite: stânga – *Hylesinus fraxini*, dreapta – *Ips typographus*

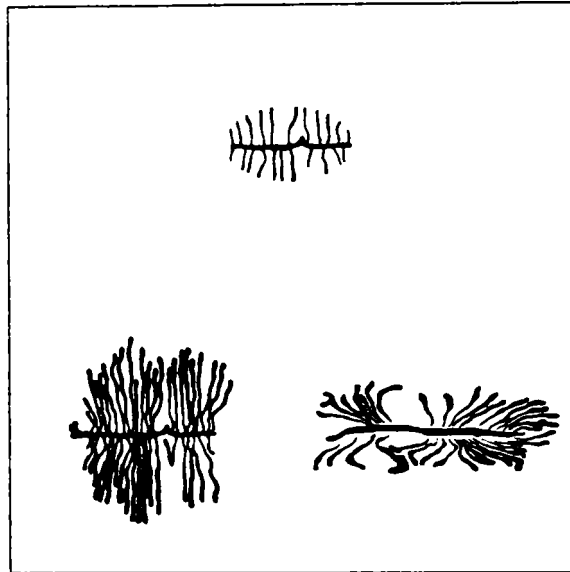


Fig. 6.12 Imaginea comună care va fi introdusă în corelator

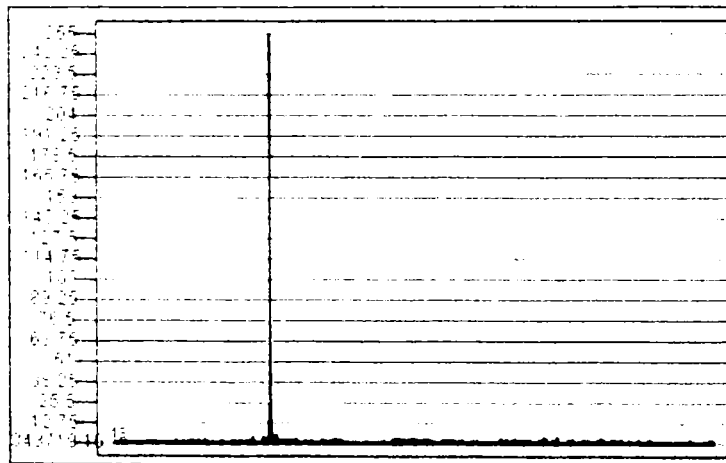
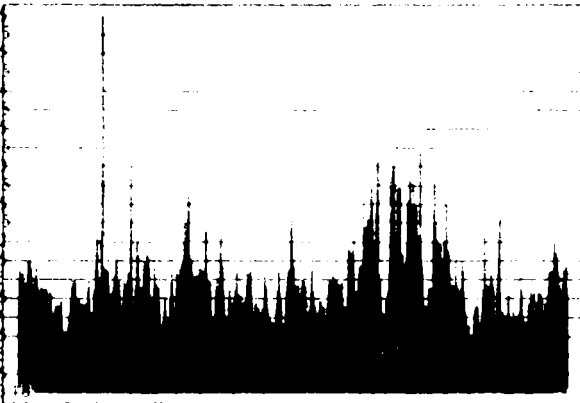
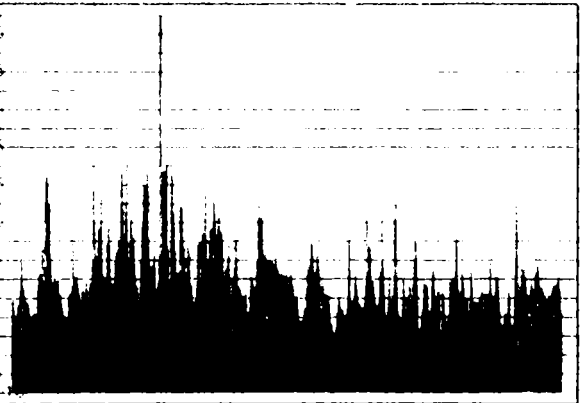
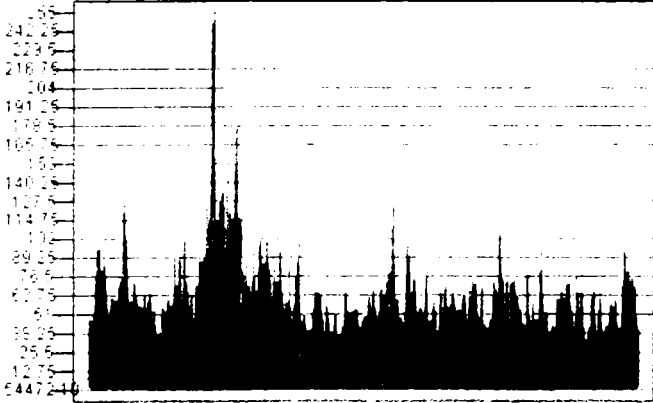
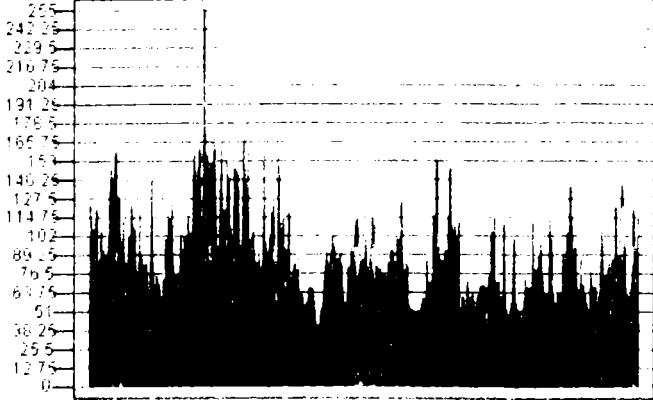
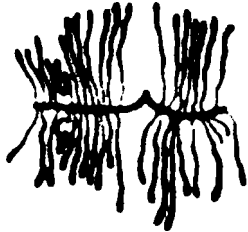
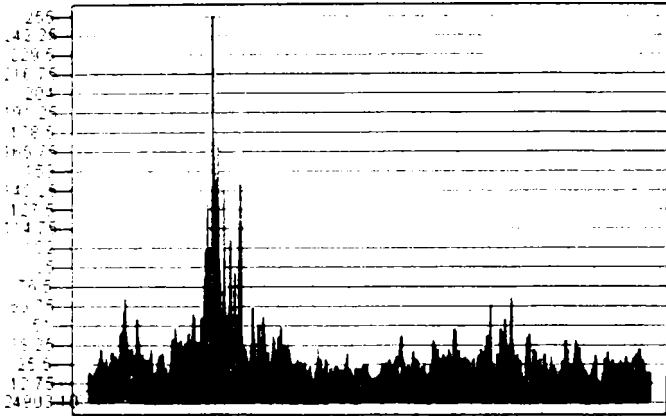


Fig. 6.13 Rezultatul procesului de corelație pentru imaginea comună din fig. 6.12, în care prin prezența maximului din partea stângă se confirmă existența imaginii de referință (fig. 12, partea superioară) în imaginea scenei și faptul că galeria larvară din stânga este puternic corelată, adică face parte din același gen cu cea de referință, cea din dreapta fiind mult diferită de cea de referință, din alt gen.

Tabelul 6.3

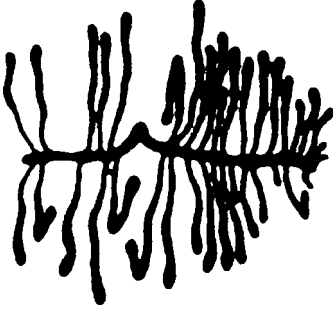
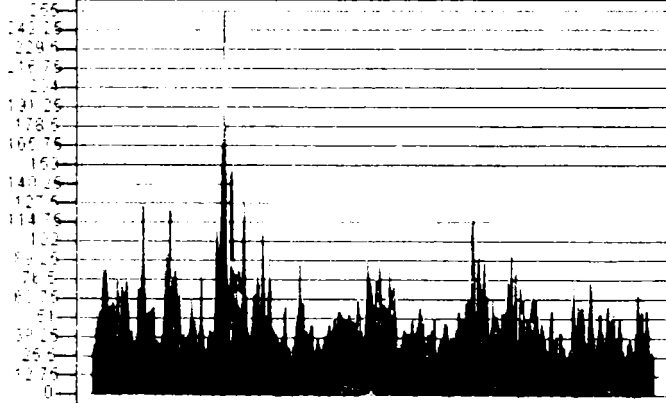
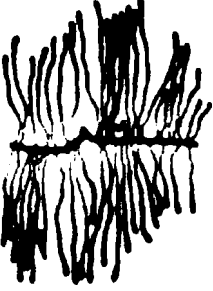
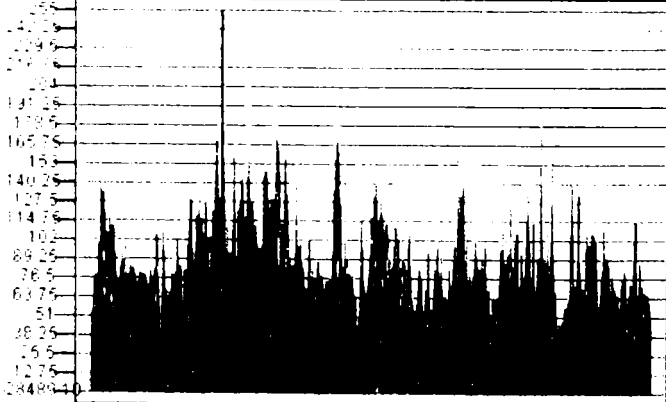
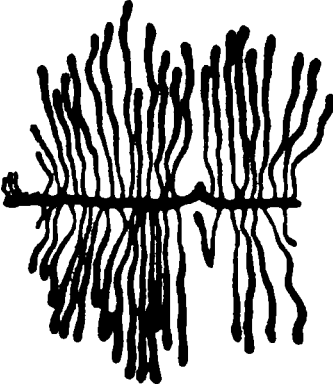
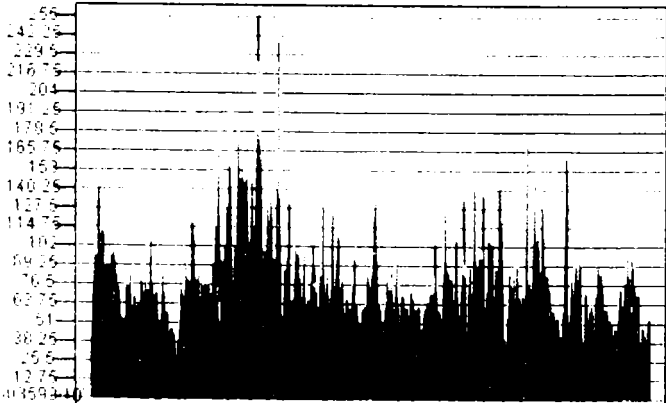
Rezultatele procesului de recunoaștere de forme cu referința generalizată singulară din Fig. 6.9 b.

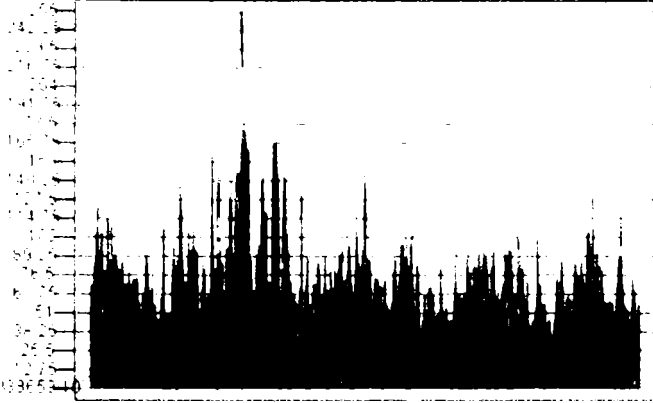
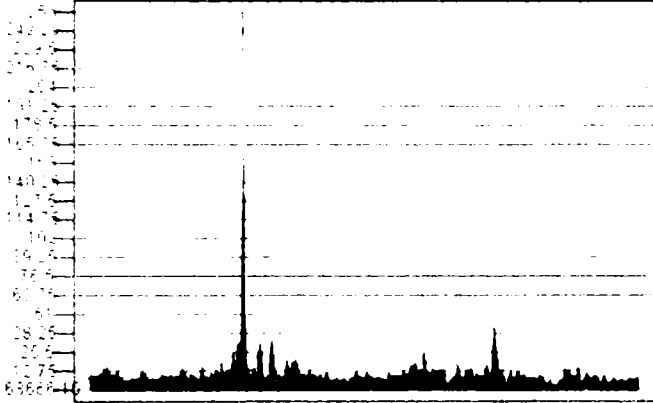
Indexul și imaginea galeriei larvare de testat	Rezultatul recunoașterii de forme prin corelație cu corelatorul (FCHTC-preMFmA)	Mărimi cantitative
GL1		API = 255 CPI = 180 CED = 1,42
GL2		API = 255 CPI = 135 CED = 1,88
GL3		API = 255 CPI = 130 CED = 1,96
GL4		API = 255 CPI = 205 CED = 1,24

Indexul și imaginea galeriei larvare de testat	Rezultatul recunoașterii de forme prin corelație cu corelatorul (FCHTC-preMFmA)	Mărimi cantitative
<p>GL5</p> 		<p>API = 255 CPI = 70 CED = 3,64</p>

Tabelul 6.4

Rezultatele procesului de recunoaștere de forme cu referința generalizată fuzionată din figura 6.10 h.

Indexul și imaginea galeriei larvare de testat	Rezultatul recunoașterii de forme prin corelație cu corelatorul (FCHTC-preMFmA)	Mărimi cantitative
<p>GL6</p> 		<p>API = 255 CPI = 115 CED = 2,21</p>
<p>GL7</p> 		<p>API = 255 CPI = 185 CED = 1,37</p>
<p>GL8</p> 		<p>API = 255 CPI = 170 CED = 1,50</p>

Indexul și imaginea galeriei larvare de testat	Rezultatul recunoașterii de forme prin corelație cu corelatorul (FCHTC-preMFmA)	Mărimi cantitative
GL9		API = 255 CPI = 127,5 CED = 2,00
GL10		API = 255 CPI = 40 CED = 6,37

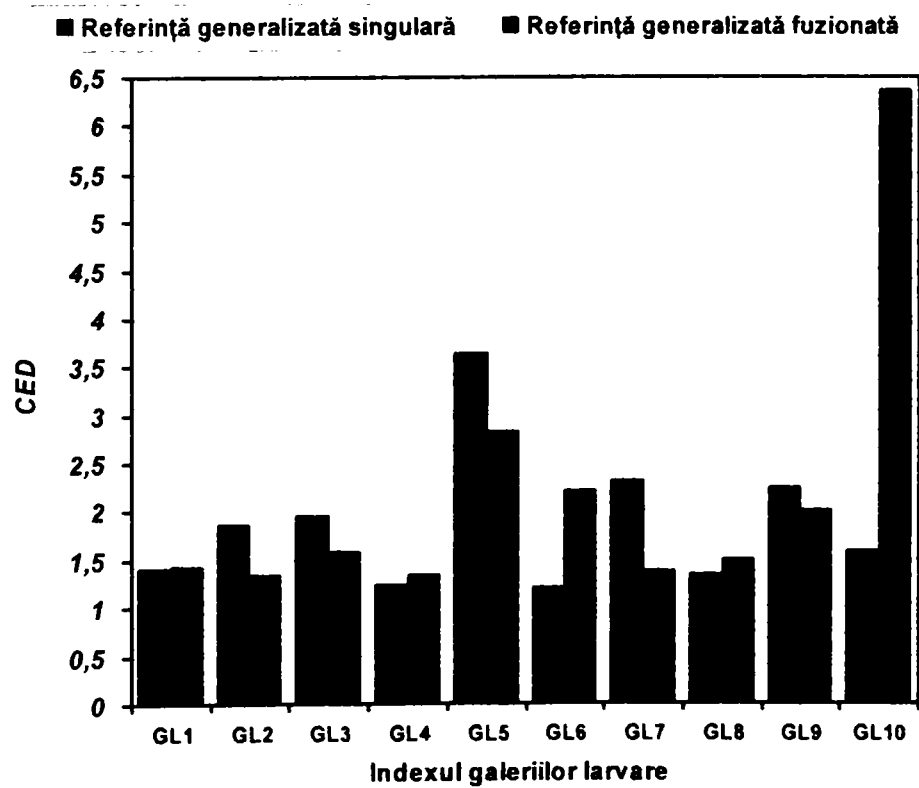


Fig. 6.14 Reprezentarea comparativă a rezultatelor procesului de recunoaștere de forme pentru referința generalizată singulară și fuzionată, în cazul galeriilor larvare, cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, (FCHTC-preMFmA).

Familia Scolytidae este un grup funcțional important în rețelele trofice ale pădurii iar din punct de vedere al intereselor umane, grup țintă în protecția pădurilor și grup bioindicator în sensul de taxon țintă ce furnizează indicații asupra biodiversității totale în ecosistem. Prezența acestora în habitat este semnalată de semnele activității legate de săparea de galerii și de simptomele induse la nivelul arborilor gazdă.

În analiza de mai sus, metoda de recunoaștere de forme permite evaluarea elementelor invariante de recunoaștere într-un material biologic caracterizat de variabilitate. Sursele acestei variabilități sunt după cum s-a arătat, legate de particularități ale gazdei și de particularități ale populației de insecte. Mediul protejat dintre scoarță și lemn este relativ uniform ceea ce se reflectă în distribuția spațială a sistemelor de galerii cât și în arhitectura relativ invariantă a acestor sisteme.

Construirea algoritmului de recunoaștere și comparație se bazează pe aceste proprietăți de relativă invarianță. Este de presupus că atunci când programul se aplică nu pentru testări demonstrative ci pentru studierea unui număr mare de amprente ale sistemelor de galerii, șansa de a decela o modificare în populația de gândaci sau de pătrundere a unei noi specii va fi mult sporită în raport cu observațiile tradiționale de inspecție vizuală.

În concluzie această metodă de prelucrare a imaginilor digitizate, prin corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA), se pretează în dezvoltarea unei baze de date de referințe generalizate cu care să se poată recunoaște și ordona diferitele tipuri de galerii larvare, fără a implica factorul subiectiv uman. Valoarea maximelor de corelație ar putea fi o măsură a variabilității geometriei testate față de referință, fapt ce va fi studiat în alte proiecte.

Capitolul 7.

Contribuții originale, concluzii și perspective

În lucrarea de față se pot evidenția următoarele concluzii și contribuții originale, cu caracter de noutate în domeniul recunoașterii de forme cu corelatoare optice și hibride cu transformată comună, acestea fiind însoțite de referințe bibliografice și articole publicate de autor.

- **Elaborarea teoriei matematice și fizice (în două dimensiuni) complete și unitare pentru modelele de corelatoare optice și hibride în domeniul fazei cu transformată comună**

Autorul ține să menționeze că modelele de corelatoare optice sau hibride în domeniul fazei cu transformată comună nu au fost dezvoltate esențial decât în ultima decadă de timp, datorită importanței acestora în diferite aplicații militare, biologice, de robotvision.

Unul din articolele lui P. S. Erbach, D. A. Gregory și J.B. Hammock (1996) [83] analizează corelatorul optic în domeniul fazei cu transformată comună, din punct de vedere teoretic și compară rezultatele produse pe cale optică și cele simulate cu ajutorul calculatorului. Modelul ales de acești autori realizează transformarea de fază atât pentru imaginea comună de intrare cât și pentru spectrul de putere comun, realizând un model de *corelator optic total* în domeniul fazei cu transformată comună, echivalent ca principiu cu cel din domeniul amplitudinii, (COTC-CL) studiat în lucrarea de față. Teoria matematică „simplă” (cuvinte folosite chiar de autorii lucrării) a modelului ales este realizată în două dimensiuni dar fără multe detalii, unele expresii fiind scrise doar ca relații de proporționalitate. Analiza comparativă dintre prevederile teoretice, rezultatele numerice obținute prin simulare pe calculator și cele experimentale, este realizată în detaliu. Concluzia acestor autori este că pentru domenii de modulare de fază, de tip *dfPSLM*, cu o adâncime mare, performanțele acestui corelator total în domeniul fazei sunt aproximativ identice cu ale celui din domeniul amplitudinii, neaducând practic

nimic nou. O altă observație a acestor autori, derivată din analiza teoretică a eficienței la difracție, este că performanțele corelatorului total în domeniul fazei s-ar putea să scadă odată cu micșorarea spațierii dintre imaginile componente ale imaginii comune de intrare. Lucrarea acestor autori a fost realizată pentru Quantex Corporation (Maryland), în cadrul unui proiect al U.S. Army Missile Command Phase II Small Business Innovative Research.

Articolul cercetătorilor G. Lu și F. T. S. Yu (1996) [32] tratează evaluarea și analiza performanțelor *corelatorului hibrid **total** în domeniul fazei cu transformată comună* fără a detalia calculele matematice mai mult decât cele care se realizează pentru varianta omoloagă de corelator în domeniul amplitudinii. Ei au utilizat un modulator de fază (PSLM) – Epson VPJ-700 – cu adâncimea de $[0; \pi]$, iar termenul central neutru este eliminat prin prelucrare digitală pe calculator cu metoda „dc blocking”. În articol se mai realizează o analiză comparativă a performanțelor între corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii și corelatorul hibrid în domeniul fazei (variante simplă și cea binarizată), cu concluzia că pentru cele în domeniul fazei performanțele sunt mai bune.

Articolul cercetătorilor B. Javidi, , W. Wang, G. Yhang și J. Li (1998) [89], tratează corelatoarele hibride în domeniul fazei cu transformată comună dar modelat matematic doar unidimensional. Ei realizează o modelare matematică a două variante de filtrare neliniară, ambele diferite de cea aleasă de autorul acestei teze. Concluzia acestora este că filtrarea neliniară este esențială în mărirea robusteții acestor corelatoare la zgomotul ambiental și aditiv.

Pornind de la aceste rezultate anterioare din literatura de specialitate, autorul acestei teze a reușit să realizeze în mod original calculele detaliate până la final pentru fiecare din cele patru modele de corelatoare în domeniul fazei, prin dezvoltarea în serie de puteri a transformatei de fază (relația (4.14)) și prin considerarea imaginii comune de intrare ca o sumă directă a imaginilor de referință și a scenei (relația (4.18)). Rezultatul final al acestor calcule a permis autorului să scoată în evidență diferența dintre forma matematică a termenilor de corelație obținuți pentru corelatoarele în domeniul amplitudinii și cele în domeniul fazei (relația (4.23 a și b)). Diferența menționată este că în cazul corelatoarelor în domeniul fazei termenii de corelație sunt o combinație de produse de corelație cu termeni neliniari ai imaginii de referință și a imaginii scenei. Această concluzie este un rezultat original și explică motivația obținerii performanțelor la recunoașterea de forme mai bune pentru corelatoarele în domeniul fazei decât cele în domeniul amplitudinii – performanțe scoase în evidență și de alți autori dar fără o demonstrație consecventă.

- **Trecerea corelatorului hibrid modificat și cu filtru modulat în amplitudine din domeniul amplitudinii, (CHTC-MFmA), în domeniul fazei, (FCHTC-MFmA)**

Rezumatul articolelor prezentate anterior arată că preocupările de dezvoltare a corelatoarelor hibride în domeniul fazei nu au abordat modelul modificat și cu filtru modulat în amplitudine. Trecerea acestui model din domeniul fazei în domeniul amplitudinii este o contribuție substanțială și originală a autorului tezei. Performanțele acestui corelator hibrid în domeniul fazei cu transformată comună – după cum s-a demonstrat în lucrarea de față – sunt mult mai bune (tabelul 4.9 și tabelele din subcapitolul 5.6) decât cele ale modelelor de corelatoare cu transformată comună dezvoltate anterior acestuia.

- **Elaborarea corelatorului hibrid în domeniul fazei cu imaginea de intrare preprocesată modificat și cu filtru modulat în amplitudine din domeniul amplitudinii în domeniul fazei, (FHTC-preMFmA)**

Majoritatea articolelor ce studiază corelatoarele optice sau hibride în domeniul amplitudinii sau fazei scot în evidență două modalități de a crește substanțial (chiar ordine de mărime – a se vedea și tabelele 4.4 și 4.9) performanțele la recunoașterea de forme a acestor corelatoare:

1. utilizarea unor filtre neliniare în planul Fourier al frecvențelor spațiale [89],
2. realizarea unui fond de intensitate nenulă în imaginea comună de intrare [32].

O consecință a realizării calculului detaliat și complet (relațiile (4.4)-(4.36)) pentru cele patru corelatoare optice și hibride în domeniul fazei cu transformată comună este aceea că autorul tezei a scos în evidență motivul pentru care aceste corelatoare sunt mai performante și anume neliniaritatea termenilor de corelație (relațiile (4.23 a și b), (4.26), (4.34)) și în consecință neliniaritatea spectrului de putere din planul Fourier care îi generează (relațiile (4.21), (4.25), (4.33)). Acest motiv rezolvă într-o anumită măsură prima din modalitățile de îmbunătățire a performanțelor corelatoarelor cu transformată comună prescrise de literatura de specialitate.

A doua modalitate de îmbunătățire a performanțelor corelatoarelor cu transformată comună este rezolvată de autor prin utilizarea unei *funcții de premodulare* a imaginii comune de intrare în domeniul amplitudinii. Autorul a testat mai multe funcții de premodulare, forma matematică finală este cea a funcției *sinus*, formă care aduce cele mai bune performanțe printr-o utilizare facilă. Ea are meritul de a adapta automat fondul imaginii comune de intrare la o intensitate nenulă și modifică chiar și domeniul de niveluri de intensitate pentru imaginea de referință și a scenei, în funcție de domeniul de premodulare (definiție) ales, *djPRE*. Prin alegerea adecvată a acestui domeniu de premodulare se va obține o adaptare automată a fondului de intensitate nenulă pentru imaginea comună cu domeniul

de modulare al imaginilor de referință și a scenei astfel încât, performanțele modelului original propus de autor să crească până la un ordin de mărime în anumite cazuri.

Introducerea funcției de premodulare – care are o formă neliniară – în efortul de a adapta automat fondul de intensitate nenulă a imaginii comune cu imaginile de referință și a scenei, amplifică neliniaritatea termenilor spectrului de putere din planul Fourier, fapt care duce la o creștere suplimentară a performanțelor la recunoașterea de forme a corelatorului hibrid în domeniul fazei cu imaginea de intrare preprocesată modificat și cu filtru modulat în amplitudine din domeniul amplitudinii în domeniul fazei, (FHTC-preMFmA), propus de autor.

• Evaluarea și analiza comparativă a performanțelor corelatoarelor optice și hibride în domeniul amplitudinii și fazei cu transformată comună în funcție de geometria imaginii scenei

Noțiunea de geometria imaginii scenei și implicit a imaginii comune de intrare, include spațierea dintre imaginile componente ale imaginii scenei și rezoluția acestor imagini.

În imaginea scenei sunt prezente: imaginea martor (ce reprezintă imaginea de referință sau o variantă deformată a acesteia) și imaginile de tip non-referință. Imaginile de tip non-referință se pot considera ca fiind un zgomot ambiental pentru imaginea martor. Spațierea mică a imaginilor componente imaginii scenei este echivalentă cu un zgomot ambiental mare (extins spațial) și are ca rezultat posibilitatea ca performanțele la recunoașterea de forme să scadă.

Rezoluția unei imagini influențează definiția detaliilor acesteia. Dacă o imagine are o rezoluție mare atunci ea va avea detaliile foarte bine definite, ceea ce presupune și o discriminabilitate mai bună față de alte imagini similare cu ea.

În lucrare s-a considerat un set de imagini comune de intrare (a se vedea fig. 3.11) care să acopere toate combinațiile de geometrii regăsite și în aplicațiile reale. S-a considerat spre exemplu o imagine comună cu o definiție mică a imaginilor și o spațiere foarte mică. Spațierea foarte mică nu s-a realizat cu imagini de tip non-referință de altă natură decât imaginea martor (respectiv de referință), ci s-au ales tocmai de aceeași natură și într-o configurație geometrică liniară pentru a obține cea mai mică spațiere posibilă. Configurațiile geometrice descrise mai sus – reprezintă o abordare originală – sunt cele care oferă gradul mare de generalitate al rezultatelor proceselor de corelație și originalitatea evaluării și analizei performanțelor corelatoarelor optice și hibride cu transformată comună. Concluziile ce se desprind din evaluarea și analiza comparativă a performanțelor corelatoarelor optice și hibride cu transformată comună prezentate în funcție de geometria imaginii scenei și zgomotul aditiv, reprezintă de asemenea un rezultat original (tabelul 4.9).

- **Aspecte ale metodei de evaluare și analiză a performanțelor corelatoarelor optice și hibride în domeniul amplitudinii și fazei cu transformată comună în funcție de geometria imaginii scenei**

Evaluarea și analiza performanțelor corelatoarelor optice și hibride cu transformată comună prezentate în lucrarea de față a fost realizată prin trei abordări originale pentru acest domeniu

1. introducerea coeficientului de eficiență la detecție intra-clasă, $icCEDrx$ (5.2), și prin abuz de notație, $icCEDry$ (5.3), și a condiției de validare a procesului de corelație (5.6),
2. aplicarea normei Lp la clasificarea performanțelor la recunoașterea de forme,
3. realizarea evaluării și analizei comparative a performanțelor la recunoașterea de forme prin evidențierea domeniului de premodulare, $dfPRE$, care asigură cele mai bune performanțe indiferent de domeniul de modulare de fază, $dfPSLM$ – tabelele 5.4, 5.5, 5.8, 5.10, 5.12, 5.24-5.31, 5.35-5.37, 5.40-5.41.

- **Aplicarea corelatorului hibrid în domeniul fazei cu imaginea de intrare preprocesată modificat și cu filtru modulat în amplitudine din domeniul amplitudinii în domeniul fazei, (FHTC-preMFmA) în clasificarea gândacilor de scoarță după arhitectura galeriilor**

Aplicațiile abordate de autor, în capitolul 6, sunt clasificarea amprentelor digitale umane [94] și larvare din scoarța copacilor [124] – aceasta din urmă fiind o realizare originală. Finalitatea acestor două aplicații este de a putea discrimina între amprentele digitale sau larvare a gândacilor de scoarță din clase diferite și de a „recunoaște” pe cele din aceeași clasă, indiferent de condițiile de amprentare.

Avantajele ce decurg din analiza performanțelor la recunoașterea de forme prezentate, oferă aplicații posibile multiple ale modelului original de corelator hibrid în domeniul fazei propus de autor, (FHTC-preMFmA): sisteme de securitate cu date biometrice (a feței umane, ale retinei, ale amprentelor digitale), robotvision, monitorizarea satelitară a zonelor cu risc sporit [125,126], fotogrammetrie [125-127], imaging medical, implementarea transformării wavelet pe cale optică [128], recunoașterea 3D a obiectelor [129,130], recunoașterea morfologică a formelor [131], realizarea operațiilor matematice optice-digitale [132].

Recunoașterea de forme din date *biometrice* (fețe și amprente digitale umane) este o soluție adoptată de foarte multe companii producătoare de sisteme de securitate – pentru sistemele bancare, aeroporturi, sisteme de acces în diferite incinte securizate, militare sau civile, comerț electronic – în special după evenimentele din 11 septembrie 2001 din SUA. Implementarea optoelectronică a

corelatoarelor cu transformată comună oferă o precizie mai mare în recunoașterea de forme chiar și în cazul variantelor adaptate la anumite deformări ale imaginilor martor.

Depășirea unui anumit prag al atacului gândacilor de scoarță asupra copacilor cu importanță economică, duce la compromiterea totală a producției pe suprafețe întinse. Soluția combaterii acestui fenomen este de a detecta la timp specia de gândaci de scoarță care a realizat atacul, determinarea cât mai exactă a gradului de atac și în funcție de acestea să se administreze tratamentul specific și în dozajul optim. Un tratament greșit sau într-un dozaj mare poate duce la compromiterea calității masei lemnoase. Aplicarea recunoașterii de forme este în consecință, una din soluțiile cu acuratețe mare pentru detectarea speciei de gândaci de scoarță și în evaluarea exactă a gradului de atac (prin numărarea automată, pe calculator a numărului de galerii de pe o anumită suprafață) – ca urmare această soluție are importanță economică în domeniul forestier.

Analiza performanțelor la recunoașterea de forme a modelului original de corelator hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu imaginea de intrare preprocesată modificat cu filtru modulat în amplitudine, (FCHTC-preMFmA), deschide perspectiva adaptării acestui model de corelator la deformarea datorată scalării imaginilor și realizarea recunoașterii morfologice de forme.

Bibliografie

- [1] Born M., Wolf E., Principles of Optics, Pergamon Press, New York. (1970).
- [2] Moisil G., Curatu E., Optică. Teorie și aplicații, Ed. Tehnică, București, (1986).
- [3] Popescu I. M., Teoria macroscopică a luminii, Ed. Enciclopedică și Științifică, București, (1985).
- [4] Vlad V. I., Zăciu R., Miron N., Maurer J., Sporea D., Prelucrarea Optică a Informației, Editura Academiei Republicii Socialiste România, București, 1976.
- [5] Carcolé E., Campos J., Bosch S., Diffraction theory of Fresnel lenses encoded in low – resolution devices, Applied Optics, Vol. 33, Nr. 2, p. 162 – 174, (1994).
- [6] Geary J., Phillip P., Spherical aberration and diffraction derived via Fourier optics, Optical Engineering, Vol. 23, Nr. 1, Jan./Febr. (1984), p. 052 – 054.
- [7] Gallo J. T., Jones M. L., Verber C.M., Computer modeling of the effects of apertures in the Fourier–transform plane of Fourier–transform imaging systems, Applied Optics, Vol. 33, Nr. 14, p. 2891 – 2899, (1994).
- [8] Dodoc Petre, Teoria și construcția aparatelor optice, Ed. Tehnică, București, (1989).
- [9] Collier R. J., Buckhardt C. B., Lin L. H., Optical Holography, Academic Press, New York and London, (1971).
- [10] Cho D. J., Watson E. A., Morris G. M., Application of bispectral speckle imaging to near–diffraction–limited imaging in the presence of unknown aberrations, Applied Optics, Vol. 34, Nr. 5, p. 854 – 864, (1995).
- [11] Chang M. P., Ersoy O.K., Dong B., Yang G., Gu B., Iterative optimization of diffractive phase elements simultaneously implementing several optical functions, Applied Optics, Vol. 34, Nr. 17, p. 3069 – 3076, (1995).
- [12] Carter W. H., Processing of Images and Data from Optical Lenses, August 25 – 26, San Diego, California, Vol. 292, (1981).
- [13] Gu J., Chen F., Fourier–transformation, phase–iteration, and least–square–fit image processing for Young’s fringe pattern, Applied Optics, Vol. 35, Nr. 2, p. 232 – 239, (1996)

- [14] Ozaktas H. M., Miller D. A. B., Digital Fourier optics, *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 8, p. 1212 – 1219, (1996).
- [15] Gârlaşu Șt., Popp C-tin., Ionel S., *Introducere în analiza spectrală și de corelație*, Ed. Facla, Timișoara, (1982).
- [16] Pop E., Naforniță I., Mihaescu A., Tiponuț V., Toma L., *Metode în prelucrarea numerică a semnalelor*, Ed. Facla, Timișoara, (1989).
- [17] Proakis J. G., Manolakis, *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications*, Macmillan Publishing Company, Rep. of Singapore, (1992).
- [18] Levena M., Steckman G.J., Psaltis D., Method for controlling the shift invariance of optical correlators, *Applied Optics*, Vol. 38, Nr. 2, p. 394 – 398, (1999).
- [19] Haist T., Schonleber M., Tiziani H.J., Positioning of noncooperative objects by use of joint transform correlation combined with fringe projection, *Applied Optics*, Vol. 37, Nr. 32, p. 7553 – 7559, (1998)
- [20] Vander Lugt A., Signal detection by complex matched spatial filtering, *IEEE Trans. Inf. Theory* IT-10, 139 (1964).
- [21] Weaver C. S. and Goodman J.W., A Method for Convolution of Two Functions Optically, *Appl. Opt.* 5, 1248 (1966).
- [22] Teușdea A. C., Recunoașterea de forme prin optică Fourier simulată pe calculator, *Analele Universității din Oradea, Seria Fizică, TOM VIII*, p. 273-295, (1997).
- [23] Teușdea A. C., Determinarea poziției referinței în planul de ieșire pentru recunoașterea optică de caractere pe cale numerică, *Analele Universității din Oradea, Seria Fizică, TOM VIII*, p. 253-267, (1997).
- [24] Teușdea A. C., Recunoașterea optică paralelă de caractere, *Analele Universității din Oradea, Seria Fizică, TOM VIII*, p. 267-273, 1997.
- [25] Duthie J.G., Upatnicks Juris, Compact real-time coherent optical correlators, *Optical Engineering*, Vol. 23, Nr. 1, p. 007 – 011 Jan./Febr. (1984).
- [26] Javidi B., Kuo Chung-Jung, Joint transform image correlation using a binary spatial light modulator at the Fourier plane, *Applied Optics*, Vol. 27, Nr. 4, p. 663 – 665, (1988).
- [27] Alam M. S., Karim M. A., Fringe-adjusted joint transform correlation, *Applied Optics*, Vol. 32, Nr. 23, p. 4344, (1993).
- [28] Alam M. S., Karim M. A., Joint-transform correlation under varying illumination, *Applied Optics*, Vol. 32, Nr.23, p. 4351, (1993).
- [29] Alam M. S., Horache E. H., Optoelectronic implementation of fringe-adjusted joint transforms correlator, *Opt. Commun.*, Vol. 236, p. 59–67, (2004).

- [30] Deutsch M., Garcia J., Mendlovic D., Multichannel single-output color pattern recognition by use of a joint-transform correlator, *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 35, p. 6976 – 6982, (1996).
- [31] Mendlovic D., Deutsch Meir, Ferreira C., Garcia J., Single-channel polychromatic pattern recognition by the use of a joint-transform correlator, *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 32, p. 6382 – 6389, (1996).
- [32] Lu Guowen, Yu F.T.S., Performance of a phase-transformed input joint transform correlator, *Applied Optics*, Vol.35, Nr.2, p. 304-313, (1996)
- [33] Huang Xianlie, Lai Hongkai, Gao Zehna, Multiple-target detection with use of a modified amplitude-modulated joint transform correlator, *Applied Optics*, Vol. 36, Nr. 35, p. 9198 – 9204, (1997).
- [34] Jaroslavsky L.P., Marom E., Nonlinearity optimization in nonlinear joint transform correlators, *Applied Optics*, Vol. 36, Nr. 20, p. 4816 – 4822, (1997).
- [35] Javidi B., Tang Q., Chirp-encoded joint transform correlators with a single input plane, *Applied Optics*, Vol. 33, Nr. 2, p. 227 – 230, (1994).
- [36] Lu Guowen, Zhang Zheng, Wu Shudong, Yu F.T.S, Implementation of a non-zero-order joint-transform correlator by use of phase-shifting techniques, *Applied Optics*, Vol.36, Nr.2, p. 470-483, (1997).
- [37] Zhong Sheng, Jiuxing Jiang, Liu Shutian, Li Chunfei, Binary joint transform correlator based on differential processing of the joint transform power spectrum, *Applied Optics*, Vol.36, Nr.8, p. 1776-1780, (1997)
- [38] Crişan S., Teuşdea A. C., Corelatorul optic cu transformată comună cu filtru modulat în amplitudine. Proprietăţi şi performanţe., *Analele Universităţii din Oradea, Seria Fizică, TOM VIII*, p. 103-111, (1997).
- [39] Demoli N., Dajms U., Gruber H., Wernicke G., Influence of flatness distorsion on the output of a liquid – crystal – television – based joint transform correlator system, *Applied Optics*, Vol. 36, Nr. 32, p. 8417 – 8426, (1997).
- [40] Teuşdea A. C., Corelatorul optic cu transformată comună în recunoaşterea optică de forme simulat pe calculator, *Analele Universităţii din Oradea, Seria Fizică, TOM VIII*, p. 245-253, (1997).
- [41] Alam Mohammad S., Chen Xue-Wen, Karim Mohammad A., Distorsion-invariant fringe-adjusted joint transform correlation, *Applied Optics*, Vol.36, Nr.29, p. 7422-7427, (1997)
- [42] Javidi Bahram, Painchand Dean, Distortion-invariant pattern recognition with Fourier-plane

- nonlinear filters, *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 2, p. 318 – 331, (1996).
- [43] Miller P.C., Investigation into reduced-resolution optical correlators with realistic spatial light modulator fill factors, *Applied Optics*, Vol. 37, Nr. 17, p. 3664 – 3677, (1998).
- [44] Willett P., Javidi B., Lops M., Analysis of image detection based on Fourier plane nonlinear filtering in a joint transform correlator, *Applied Optics*, Vol. 37, Nr. 8, p. 1329 – 1341, (1998)
- [45] Su Honh-Jun, Karim Mohammad A., Performance improvement of a phase-shifting joint transform correlator by use of phase-iterative techniques, *Applied Optics*, Vol.37, Nr.17, p. 3639-3642, (1998)
- [46] Teuşdea Alin C., Performance of modified fringe phase-transformed input joint transformed correlator, *Proceedings of Symposium of Electronics and Telecommunications „ETc. 98”*, September 17-18, Timişoara, România, Tomul 43 (57), Facicula 2, Vol. I, ISSN 1224-6034, p. 95-99, (1998).
- [47] Rosen J., Three – dimensional joint transform correlator, *Applied Optics*, Vol. 37, Nr. 32, p. 7538 – 7544, (1998).
- [48] Thapliya R., Koizumi H., Kodate K., Kamiya T., Parallel joint transform correlator applied to Devanagari script recognition, *Applied Optics*, Vol. 37, Nr. 23, p. 5408 – 5415, (1998)
- [49] Hongchen Zhai, Gnognnang Mu, Jie Sun, Fulai Zhu Xinshan Liu, Hui Kang, Yuanling Zhan, Color pattern recognition in white-light joint transform correlation, *Applied Optics*, Vol. 38, Nr. 35, p. 7238 – 7244, (1999).
- [50] Kodate Kashiko, Hashimoto Asako, Thapliya Roshan, Binary zone-plate array for a parallel joint transform correlator applied to face recognition, *Applied Optics*, Vol. 38, Nr. 14, p. 3060 – 3067, (1999).
- [51] Labastida I., Carnicer A., Martin-Badosa Estela, Juvells I., Santiago V., On-axis joint transform correlation based on a four-level power spectrum, *Applied Optics*, Vol.38, Nr.29. p. 6111-6115, (1999)
- [52] Sharp J.K., Mackay N.E., Tang Pei C., Watson I.A., Scott B.F., Budgett David M., Chatwin Chris R., Young Rupert C.D., Touda Sylvie, Huignard Jean – Pierre, Slack Tim G., Collings Neil, Pourzand Ali – Reza, Duelli Marcus, Grattarola Aldo, Braccini Carlo, Experimental systems implementation of a hybrid optical – digital correlator, *Applied Optics*, Vol. 38, Nr. 29, p. 6116 – 6127, (1999).
- [53] Su Jun – Hong, Karim Mohamed A., Phase-shifting joint transform correlation with phase – iterative algorithm: effect of the dynamic range limit, *Applied Optics*, Vol. 38, Nr. 26, p. 5556 – 5559, (1999).

- [54] Zhang Shuqun, Karim Mohammad A., Illumination-invariant pattern recognition with joint-transform-correlator-based-morphological correlation, *Applied Optics*, Vol.39, Nr.3, p. 7228-7237, (1999)
- [55] Bigué L., Ambs P., Filter implementation technique for multicriteria characterization of coding domains in the joint transform correlator, *Applied Optics*, Vol. 38, Nr. 20, p. 4296 – 4305, (1999).
- [56] Teuşdea Alin C., Noise Robustness of Hybrid Modified Input and Fringe Phase-Transformed Joint transformed Correlator, *Analele Universităţii din Timişoara, Seria Fizică*, p. 137-143, Vol. 43, (2001).
- [57] Teuşdea A. C., Noise Robustness of Hybrid Modified Input and Fringe Phase-Transformed Joint Transformed Correlator, *Analele Universităţii de Vest din Timişoara, seria Fizică*, Vol. 43, p. 137 – 143, (2002).
- [58] Teuşdea Alin C., Reference Distortion Tolerances of Hybrid Modified Input and Fringe Phase-Transformed Joint Transformed Correlator, *Proceedings of 27th Annual Congress of the American-Romanian Academy of Arts and Sciences*, Politechnic international Press, Montreal, Canada, Physics and Chemistry Section, Vol. II. ISBN: 2-553-01024-9, p. 1399-1403, (2002).
- [59] Caulfield H.J., Mueller P.F., Direct optical computation of linear discriminants for recognition, *Optical Engineering*, Vol. 23, Nr. 1, p. 016 – 019, Jan./Febr. (1984).
- [60] Grunnet-Jepsen A., Tonda S., Laude V., Convolution-kernel based optimal trade-off filters for optical pattern recognition, *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 20, p. 3874 – 3879, (1996)
- [61] Kozaitis S.P., Puapunpongse P., Spatial-domain implementation of optimal multicriteria correlation filters, *Applied Optics*, Vol. 36, Nr. 14, p. 3056 – 3062, (1997).
- [62] Lohmann A.W., Shabtay Gal, Mendlovic D., Synthesis of hybrid spatial coherence, *Applied Optics*, Vol. 38, Nr. 20, p. 4279 – 4280, (1999).
- [63] Miller P., Multiresolution correlator analysis and filter design, *Applied Optics*, Vol.35, Nr.29, p. 5790-5810, (1996)
- [64] Pérez-Tudela J., Juvelis I., Montes-Usategui M., Vallmitjana S., Carnicer A., Reduction of the Effect of Aberration in Joint-Transform Correlator, *Applied Optics*, Vol. 43, Issue 4, p. 841, (2004)
- [65] Matalgah M. M., Knopp J., Eiffer L., Geometric approach for designing optical binary amplitude and binary phase-only filters, *Applied Optics*, Vol. 37, Nr. 35, p. 8233 – 8246, (1998).
- [66] Moreno I., Ahouzi E., Campos J., Yzuel Maria J., Real-time binary-amplitude phase-only

- filters, *Applied Optics*, Vol. 36, Nr. 29, p. 7428 – 7432, (1997)
- [67] Wang R., Chatwin Chris R., Multilevel phase- and amplitude-encoded modified- filter synthetic-discriminant-function filters, *Applied Optics*, Vol. 34, Nr. 20, p. 4094 – 4104, (1995).
- [68] Riasati V.R., Abushagur M.A.G., Projection-slice synthetic discriminant functions for optical pattern recognition, *Applied Optics*, Vol. 36, Nr. 14, p. 3022 – 3033, (1997).
- [69] Gregory Don A., Londin Jeffrey A., Kirsch James C., Tam Eddy C., Francis T.S.Yu, Using the hybrid modulating properties of liquid crystal television, *Applied Optics*, Vol. 30, Nr.11, p.1374-1378, (1991)
- [70] Kane J.S., Grycewicz T.J., Kincaid T.G., Realizing optical logic with a smart-pixel spatial light modulator, *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 8, p. 1249 – 1252, (1996)
- [71] Demoli N., Gruber H., Dahms U., Werniche G., Characterization of the cuneiform signs by the use of a multifunctional optoelectronic device, *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 29, p. 5811 – 5820, (1996).
- [72] Sayyah K., An A., Efron U., Yamazaki T., High-resolution liquid-crystal-based spatial light modulator with a thin crystalline silicon photosubstrate structure, *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 29, p. 5761 - 5764, (1996)
- [73] Storrs M., Mehrl D.J., Walkup J.F., Programmable spatial filtering with bacteriorhodopsin, *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 23, p. 4632 – 4636, (1996)
- [74] Takaki Y., Ishida K., Kume Y., Ohzu H., Incoherent pattern detection using a liquid – crystal active lens, *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 17, p. 3134 – 3140, (1996)
- [75] Takaki Y., Ishida K., Kume Yuichiro, Ohzu Hitoshi, Incoherent pattern detection using a liquid-crystal active lens., *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 17, p. 3134, (1996).
- [76] Keryer G., Bougrenet de la Tocnaye J.L., Al Falon A., Performance comparison of ferroelectric liquid-crystal-technology-based coherent optical multichannel correlators, *Applied Optics*, Vol. 36, Nr. 14, p. 3043 – 3055, (1997).
- [77] Miller P.C., Caprari R.S., Demonstration of improved automatic target-recognition performance by moment analysis of correlation peaks, *Applied Optics*, Vol. 38, Nr. 8, p. 1325 – 1331, (1999).
- [78] Garcia-Martinez P., Mas D., Garcia J., Ferreira C., Nonlinear morphological correlation: optoelectronic implementation, *Applied Optics*, Vol. 37, Nr. 11, p. 2112, (1998).
- [79] Aiken J. Bates B., Programmable color liquid-crystal television spatial light modulator: transmittance properties and application to speckle – correlation displacement measurement, *Applied Optics*, Vol. 39, Nr. 2, p.337 – 344, (2000).

- [80] Horner Joseph L, Gianino Peter D., Phase-only matched filtering, *Applied Optics*, Vol.23, Nr.6, p. 812-816, (1984).
- [81] Barnes T. H., Eiju Tomoaki, Matusda Kiyofumi, Ooyama Naotake, Phase-only modulation using a twisted nematic liquid crystal television, *Applied Optics*, Vol.28, Nr. 22, p. 4845 . (1989)
- [82] Cohn Robert W., Liang Minhua, Pseudorandom phase-only encoding of real-time spatial light modulators, *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 14, p. 2488 – 2498, (1996).
- [83] Erbach Peter S., Gregory Don A., Hammock Jeffery B., Phase-only joint-transform correlator: analysis and experimental results, *Applied Optics*, Vol.35, Nr.17, p. 3091-3096, (1996)
- [84] Javidi B., Towghi N., Maghzi N., Verrall S.C., Error-reduction techniques and error analysis for fully phase and amplitude-based encryption, *Applied Optics*, Vol. 39, Nr. 23, p. 4117 – 4130, (2000).
- [85] Labastida I., Carnicer A., Martin-Badosa Estela, Santiago V., Ignacio J., Optical correlation by use of partial phase-only modulation with VGA liquid –crystal displays, *Applied Optics*, Vol.39, Nr.5, p. 766-769, (2000)
- [86] Takahasi T., Ishii Y., Object-binarized phase-only matched filtering with dual liquid-crystal spatial light modulators, *Applied Optics*, Vol. 36, Nr. 5, p. 1073 – 1085, (1997).
- [87] Cohn W. R., Horner J.L., Effects of systematic phase errors on phase-only correlation, *Applied Optics*, Vol. 33, Nr. 23, p. 5432 – 5439, (1994).
- [88] García-Martínez P., Otón J., Vallés J. J., Arsenault H. H., Nonlinear Pattern Recognition Correlators Based on Color-Encoding Single-Channel Systems, *Applied Optics*, Vol. 43, Issue 2, p. 425, (2004)
- [89] Javidi B., Wang W., Zhang G., Li Jian., Nonlinear filtering for recognition of phase-encoded images, *Applied Optics*, Vol. 37, Nr. 8, p. 1283 – 1291, (1998)
- [90] Javidi B., Wang Wenlu, Zhang Guanshen, Li Jian, Nonlinear filtering for recognition of phase-encoded images, *Applied Optics*, Vol.37, Nr.8, p.1283-1291, (1998)
- [91] Jutamulia S., Phase-only Fourier transform of an optical transparency, *Applied Optics*, Vol. 33, Nr. 2, p. 280 – 282.
- [92] Nomura Takanori, Phase-encoded joint transform correlator to reduce the influence of extraneous signals, *Applied Optics*, Vol.37, Nr.17, p. 3651-3655, (1998)
- [93] Sharp J.H., Budgett D.M., Slack T.G., Scott B.F., Compact phase-conjugating correlator: simulation and experimental analysis, *Applied Optics*, Vol. 37, Nr. 20, p. 4380 – 4388, (1998)

- [94] Teușdea Alin C., Rotation Robustness Analysis of Amplitude and Phase Modified Joint Fourier Transform Correlators", Proceedings of 28th Annual Congress of the American-Romanian Academy of Arts and Sciences, Politechnic International Press, Montreal, Canada, Engineering and Applied Mathematics Section, Vol. II, ISBN: 2-553-01137-7, p. , (2003).
- [95] Teușdea Alin C., Fingerprint Recognition with Amplitude and Phase Joint Transform Correlators, Proceedings of 29th Annual Congress of the American-Romanian Academy of Arts and Sciences, Alma Mater Publishing House, University of Applied Sciences, Bochum Germany, ISBN: 973-632-140-1, p. 505-509, (2004).
- [96] Chen X., Chen Z., Amplitude-modulated circular-harmonic filter for pattern recognition, Applied Optics, Vol. 34, Nr. 5, p. 879 – 885, (1995).
- [97] Garcia J., Campos J., Ferreira C., Circular-harmonic minimum average correlation energy filter for color pattern recognition, Applied Optics, Vol. 33, Nr. 11, p. 2180 – 2187.
- [98] Gualdron O., Arsenault H. H., Optimum rotation-invariant filters for disjoint-noise scenes, Applied Optics, Vol. 35, Nr 14, p. 2507 – 2512, (1996)
- [99] Mendlovic D., Zalevsky Z., Kirynschev I., Lebseton G., Composite harmonic filters for scale, projection and shift invariant pattern recognition, Applied Optics, Vol. 34, Nr 2, p. 310 – 316, (1995).
- [100] Moya A., Mendlovic D., Garcia J., Ferreira C., Projection-invariant pattern recognition with a phase-only logarithmic-harmonic-derived filter, Applied Optics, Vol. 35, Nr. 20, p. 3862 – 3867, (1996)
- [101] Shen Lixin, Sheng Junlong, Premont Guy, Theory and optical implementation of the geometrical approach of multiple circular harmonic filters, Applied Optics, Vol. 34, Nr. 20, p. 4004 – 4012, (1995).
- [102] Tajahuerce E., Moya A., Garcia J., Ferreira C., Real filter based on Mellin radial harmonics for scale – invariant pattern recognition, Applied Optics, Vol. 33, Nr. 14, p. 3086 – 3093.
- [103] Vijaya Kumar B.V.K., Khim Ng.T., Multiple circular-harmonic-function correlation filter providing specified response to in-plane rotation, Applied Optics, Vol. 35, Nr. 11, p. 1871 – 1878, (1996)
- [104] Foor Wesley E., Neifeld Mark A., Adaptive, optical, radial basis function neural network for handwritten digit recognition, Applied Optics, Vol. 34, Nr. 32, p. 7545 – 7555, (1995).
- [105] Zavala-Hamz V. A., Alvarez-Borrego J., Circular harmonic filters for the recognition of marine microorganisms, Applied Optics, Vol. 36, Nr. 2, p. 484 – 489, (1997).
- [106] Brasher J.D., Woodson M., Composite training images for synthetic discriminant functions,

- Applied Optics, Vol. 35, Nr. 2, p. 314 – 317, (1996)
- [107] Farid A., Karim Mohammad A., Filter–feature–based rotation-invariant joint Fourier transform correlator, Applied Optics, Vol. 34, Nr. 32, p. 7556 – 7560, (1995).
- [108] Garcia-Martinez Pascuala, Ferreira Carlos, Garcia Javier, Arsenault Henri H., Nonlinear rotation-invariant pattern recognition by use of the optical morphological correlation, Applied Optics, Vol. 39, Nr. 5, p. 776 – 781, (2000).
- [109] Mahalanobis A., Kumar Vijaya B.V.K., Frankot R. T., Intra-class and between-class training-image registration for correlation-filter synthesis, Applied Optics, Vol. 39, Nr. 17, p. 2918 – 2924, (2000).
- [110] Javidi B., Painchand D., Distortion-invariant pattern recognition with Fourier-plane nonlinear filters, Applied Optics, Vol. 35, Nr. 2, p. 318 – 331, (1996).
- [111] Mahalanobis A., Vijaya Kumar B.V.K., Sims S.R.F., Distance-classifier correlation filters for multiclass target recognition, Applied Optics, Vol. 35, Nr. 17, p. 3127 – 3133, (1996).
- [112] Silvera E., Kotzer T., Shamir J., Adaptive pattern recognition with rotation, scale and shift invariance, Applied Optics, Vol. 34, Nr. 11, p. 1891 – 1900, (1995).
- [113] Zalevsky Z., Ouzieli I., Mendlovic D., Wavelet-transform based composite filters for invariant pattern recognition, Applied Optics, Vol. 35, Nr. 17, p. 3141 – 3147, (1996)
- [114] Zalevsky Z., Mendlovic D., Polynomial expansion for shift-and one-or two-dimensional scale-invariant pattern recognition, Applied Optics, Vol. 34, Nr. 23, p. 5146 – 5152, (1995).
- [115] Zhang Y., Gu B.Y., Rotation-invariant and controllable space-variant optical correlation, Applied Optics, Vol. 37, Nr. 26, p. 6256 – 6261, (1998)
- [116] Chang S., Boothroyd S.A., Chrostowski J., Partial rotation – invariant pattern matching and face recognition with a joint transform correlator, Applied Optics, Vol. 36, Nr. 11, p. 2380 – 2387, (1997).
- [117] Cojoc D., Molina M.T. Garcia J., Ferreira C., Coordinate-transformed filter for shift – invariant and scale – invariant pattern recognition, Applied Optics, Vol. 36, Nr. 20, p. 4812 – 4815, (1997)
- [118] Kurita Takio, Hotta Kazuhiro, Mishima Taketoshi, Scale and rotation invariant recognition method using higher-order local autocorrelation features of log-polar image, Automatic Face and Gesture Recognition. Proceedings. Third IEEE International Conference, p. 70- 75, (1998).
- [119] Levkovitz J., Oron E., Tur M., Position-invariant, rotation-invariant, and scale-invariant process for binary image recognition, Applied Optics, Vol. 36, Nr. 14, p. 3035 – 3047, (1997).

- [120] Terrillon Jean-Christophe, Image reprocessing for rotation-invariant pattern recognition in the presence of signal-dependent noise, *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 11, p. 1879 – 1893, (1996).
- [121] Pech-Pacheco, Jose L., Alvarez-Borrego J., Cristobal G.; Keil M. S., Automatic object identification irrespective of geometric changes, *Optical Engineering*, Volume 42, pp. 551-559 (2003).
- [122] Berfanger D.M., George N., All-digital ring-wedge detector applied to fingerprint recognition, *Applied Optics*, Vol. 38, Nr. 2, p. 357 – 369, (1999).
- [123] Roberge D., Soutar C., Operating-curve selection for optical and digital correlation of fingerprints, *Applied Optics*, Vol 37, Nr. 32, p. 7545 – 7551, (1998)
- [124] Teușdea A., Fodor Ecaterina, Hâruga O., Aplicații ale recunoașterii de forme în identificarea gândacilor de scoarță (Ord. *Coleoptera*: Fam. *Scolytidae*) după arhitectura galeriilor, *Revista Pădurilor*, Anul 117, 3, 26-33, (2002).
- [125] Bertilone D.C., Caprari R.S., Angeli S., Newsam G.N., Spatial statistics of natural-terrain imagery. I. Non – Gaussian IR backgrounds and long – range correlations, *Applied Optics*, Vol. 36, Nr. 35, p. 9167 – 9176, (1997)
- [126] Bertilone D.C., Wegener M., Angeli S., Joyce R., Power-law correlations in natural infrared imagery, *Applied Optics*, Vol. 37, Nr.20, p. 4433 – 4436, (1998)
- [127] Fraudkin Maxim, Ethsog Uzi, Automatic generation of distortionless digital orthophoto images, Department of Civil Engineering Technion – Israel Institute of Technology 32000 Haifa, p. 39 – 46, (1997).
- [128] Erbach P.S., Gregory Don A., Yang Xiangyang, Optical wavelet transform by the phase-only joint-transform correlator, *Applied Optics*, Vol. 35, Nr. 17, p. 3117 –3126, (1996).
- [129] Li Youzhi, Rosen J., Three-dimensional pattern recognition with a single two-dimensional synthetic reference function, *Applied Optics*, Vol. 39, Nr. 8, p. 1251 – 1259, (2000).
- [130] Abookasis d., Rosen J., Digital correlation holograms implemented on a joint transform correlator, *Opt. Commun.* Vol. 225, p. 31-37, (2003).
- [131] Zhang Shuqun, Karim Mohamed A., Morphologically preprocessed joint transform correlation, *Applied Optics*, Vol. 38, Nr. 11, p. 2182 – 2188, (1999).
- [132] Zhang Shuqun, Karin Mohamed A., Real-time digital optical matrix multiplication with a joint-transform correlator, *Applied Optics*, Vol. 38, Nr. 2, p. 399 – 408, (1999).

Anexa 1

A1.1 Modulator de amplitudine și fază a luminii (SLM, PSLM), model LC2002 HoloEye

Modulatorul de amplitudine a luminii LC2002 HoloEye (fig. A1.1) este model adresabil electronic de modulator de fază a luminii. El utilizează un ecran cu cristale lichide LCD (Liquid Crystal Display) de tip Sony a cărui celulă are ca principiu de funcționare de bază este prezentat în fig. A1.2. Specificațiile tehnice sunt următoarele:

- semnalul de intrare (IBM PC / Windows / Dos): VGA, SVGA, Mac8, PC8
- suprafața efectivă de proiecție optică: $21 \times 26 \text{ mm}^2$, sub formă pătrată
- domeniul de modulare al amplitudinii: 256 nivele de gri (8 bit)
- domeniul de modulare a fazei (dependent de lungimea de undă) : 2π pentru 530nm
- dimensiunea unui pixel: $32\mu\text{m} \times 32\mu\text{m}$
- dimensiunea LCD: 800x600 de pixeli

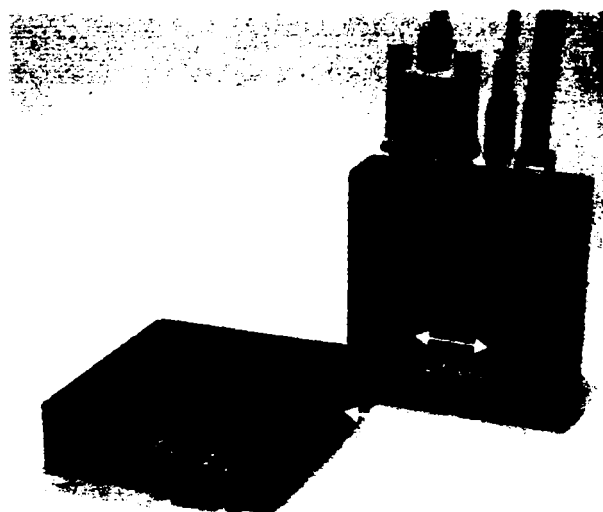


Fig. A1.1 Modulator de amplitudine a luminii model LC2002 HoloEye.

Sursa: <http://www.holoeye.com/slmprod.htm#SLM>

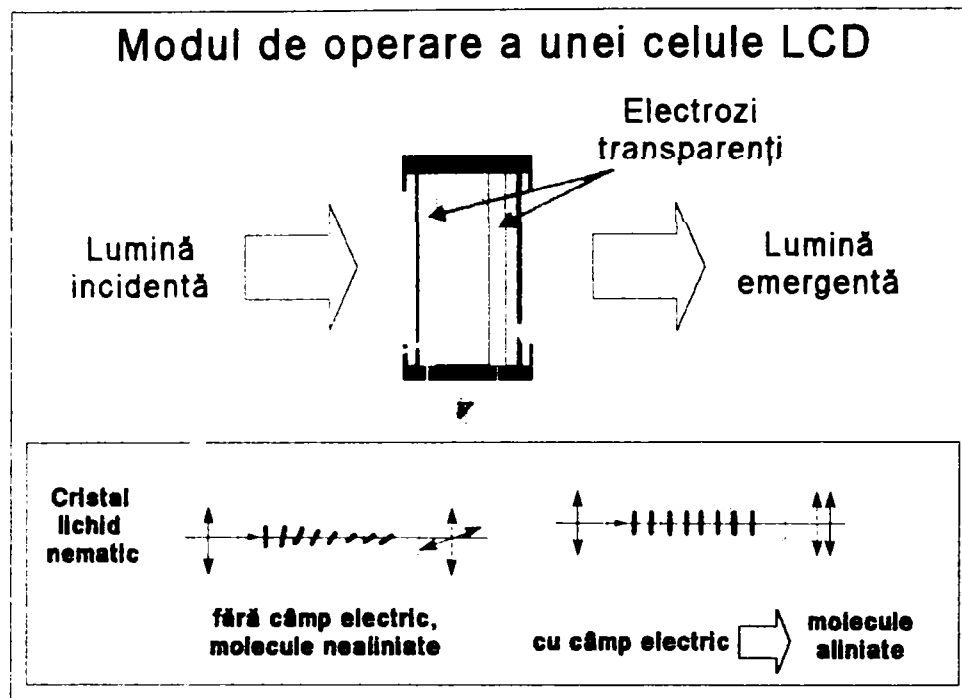
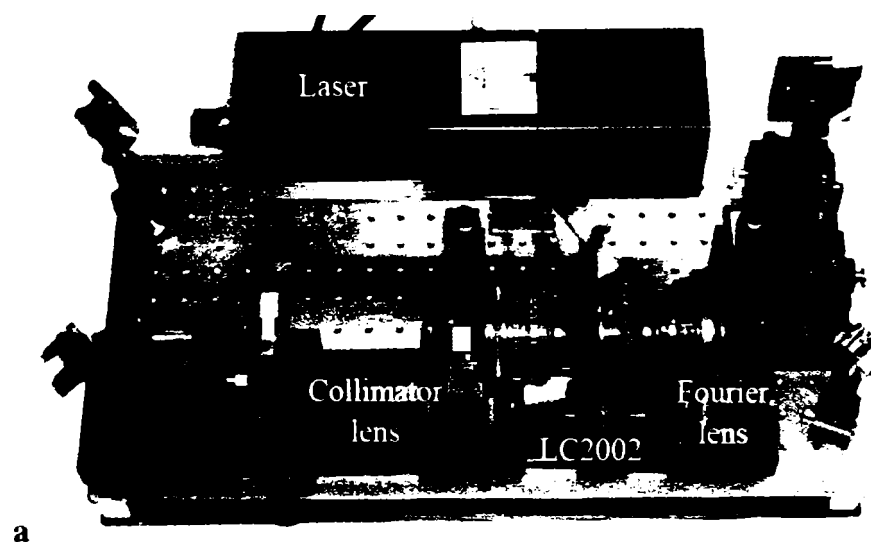
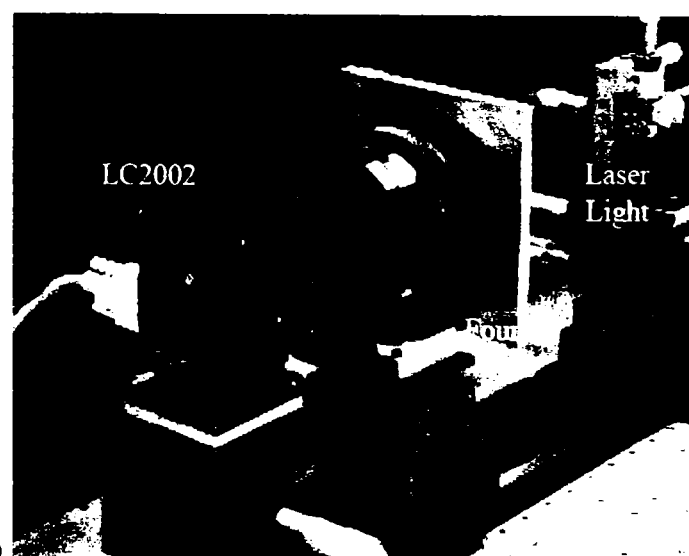


Fig. A1.2



a



b

Fig. A1.3 Schema optică de utilizare a unui modulator în amplitudine a luminii, LC2002 HoloEye, într-un experiment de optică Fourier: a – schema generală, b – detaliu.

Figura A1.3 prezintă montajul optic recomandat de firma producătoare pentru procesul de filtrare spațială prin optică Fourier sau pentru corelație hibridă în domeniul amplitudinii.

A1.2 Modulator de fază a luminii (PSLM), model Hamamatsu PPM (Phase Programable Modulator)

Hamamatsu PPM este un model adresabil electronic de modulator de fază a luminii (Fig. A1.4). El utilizează un ecran cu cristale lichide LCD (Liquid Crystal Display) de tip PAL-SLM (Paralell Aligned Nematic Liquid Crystal Spatial light Modulator). Este aplicabil în procesarea optică a informației prin difracție optică și filtrare Fourier optică spațială cu un domeniu larg de modulare a fazei. Cele două modele din Fig. A.1.4 conțin un ecran LCD tip VGA, respectiv XGA, și o diodă laser compactă.

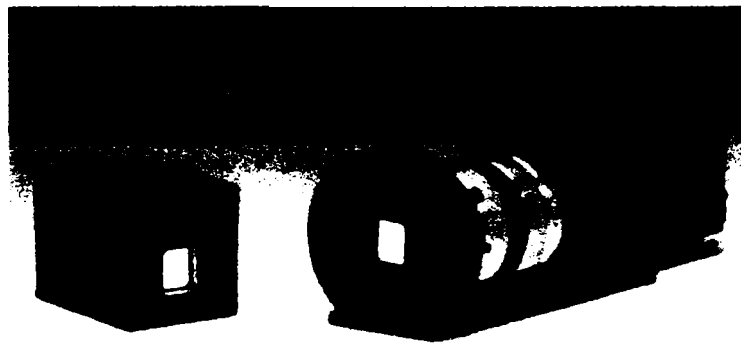


Fig. A1.4 Modelul X8077 (stânga) și X8267 (dreapta).

Sursa: <http://sales.hamamatsu.com/en/products/electron-tube-division/detectors/spatial-light-modulator.php>.

Specificații tehnice pentru modelul X8267:

- semnalul de intrare (IBM PC / Windows / Dos): XGA
- numărul de pixeli adresabili: aproximativ 590.000
- suprafața efectivă de proiecție optică: $20 \times 20 \text{ mm}^2$, sub formă pătrată
- domeniul de modulare a fazei (dependent de lungimea de undă) : 2π pentru 633nm
- rezoluția maximă: 19 linii/mm
- dimensiunea LCD: 1024x768 de pixeli
- puterea consumată: 45 VA
- greutate: 1600g.

Anexa 2

Rezultatele evaluării robusteții corelatorului hibrid în domeniul fazei cu imaginea comună de intrare preprocesată, modificat și cu filtru modulat în amplitudine, (FCHTC-preMFmA), la diferite deformări

Tabelul A.2.1

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (din *setul II*) al domeniilor $dfPSLM$ -- imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.

$dfPSLM$	$dfPRE$	$icCEDrx$	$icCEDry$	$Dif.$	$CEDxy$	$CEDxy$	Lp	Ierarhie	LpT	Ierarhie
		minim	maxim	$icCED$	minim	Ok	$p = 3$	Lp	$p = 3$	LpT
[0; $\pi/2$]	[$\pi/4;5\pi/4$]	0,579	0,103	0,476	5,920	OK	10,702	1	10,827	1
	[$\pi/4;3\pi/2$]	0,489	0,092	0,398	5,838	OK	10,147	2	10,258	2
	[$3\pi/4;5\pi/4$]	0,806	0,426	0,379	1,965	OK	10,029	3	10,040	4
	[$\pi/4;7\pi/4$]	0,369	0,074	0,296	5,680	OK	9,573	4	9,565	5
	[$3\pi/4;3\pi/2$]	0,722	0,427	0,295	1,820	OK	8,587	5	8,987	8
	[$\pi/4;\pi$]	0,610	0,219	0,391	2,790	OK	6,991	6	7,855	13
	[$3\pi/4;7\pi/4$]	0,555	0,512	0,043	1,282	OK	5,672	7	6,854	18
	[$\pi/4;2\pi$]	0,227	0,084	0,143	3,068	OK	4,279	8	4,674	31
	[$3\pi/4;2\pi$]	0,601	0,643	-0,042	0,934	X	6,462	9	7,425	54
	[$3\pi/4;7,4\pi/4$]	0,492	0,574	-0,082	0,939	X	4,574	10	6,050	55
[0; π]	[$3\pi/4;5\pi/4$]	0,637	0,145	0,492	4,585	OK	10,973	1	9,504	6
	[$\pi/4;3\pi/2$]	0,304	0,053	0,251	6,099	OK	10,096	2	10,164	3
	[$3\pi/4;3\pi/2$]	0,546	0,126	0,420	4,615	OK	9,522	3	8,808	10
	[$\pi/4;7\pi/4$]	0,228	0,042	0,186	5,473	OK	8,712	4	8,918	9
	[$\pi/4;5\pi/4$]	0,382	0,091	0,291	4,452	OK	7,293	5	7,573	15
	[$\pi/4;2\pi$]	0,156	0,036	0,119	4,613	OK	6,908	6	7,266	17
	[$3\pi/4;7\pi/4$]	0,406	0,160	0,246	2,974	OK	5,684	7	5,804	24
	[$\pi/4;\pi$]	0,411	0,154	0,257	2,727	OK	5,599	8	5,631	26
	[$3\pi/4;7,4\pi/4$]	0,329	0,195	0,135	2,058	OK	3,708	9	4,295	33
	[$3\pi/4;2\pi$]	0,210	0,195	0,014	1,293	OK	1,120	10	2,558	45
[0;1,2 π]	[$3\pi/4;5\pi/4$]	0,533	0,111	0,422	4,904	OK	12,223	1	9,100	7
	[$3\pi/4;3\pi/2$]	0,450	0,098	0,352	4,778	OK	10,777	2	8,419	11
	[$\pi/4;3\pi/2$]	0,221	0,044	0,178	5,124	OK	10,057	3	8,272	12
	[$\pi/4;7\pi/4$]	0,162	0,035	0,127	4,615	OK	8,577	4	7,275	16
	[$3\pi/4;7\pi/4$]	0,343	0,100	0,243	4,003	OK	7,853	5	6,684	19
	[$\pi/4;5\pi/4$]	0,294	0,078	0,215	3,901	OK	7,126	6	6,302	21

<i>dfPSLM</i>	<i>dfPRE</i>	<i>icCEDrx</i>	<i>icCEDry</i>	<i>Dif.</i>	<i>CEDxy</i>	<i>CEDxy</i>	<i>Lp</i>	lerarhie	<i>LpT</i>	lerarhie
		<i>minim</i>	<i>maxim</i>	<i>icCED</i>	<i>minim</i>	<i>Ok</i>	<i>p = 3</i>	Lp	<i>p = 3</i>	LpT
	$[\pi/4; 2\pi]$	0,113	0,030	0,083	3,797	OK	6,270	7	5,727	25
	$[\pi/4; \pi]$	0,315	0,147	0,168	2,219	OK	4,896	8	4,257	35
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,271	0,121	0,150	2,606	OK	4,274	9	4,261	34
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,164	0,123	0,041	1,568	OK	1,222	10	2,218	48
[0; 1,4 π]	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	0,432	0,103	0,328	4,280	OK	12,599	1	7,589	14
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0,357	0,095	0,262	3,944	OK	10,481	2	6,667	20
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	0,150	0,038	0,112	3,904	OK	8,576	3	5,955	23
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	0,267	0,081	0,186	3,509	OK	7,933	4	5,555	27
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	0,211	0,067	0,144	3,257	OK	6,495	5	4,928	29
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,210	0,082	0,128	2,922	OK	5,425	6	4,367	32
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0,104	0,035	0,069	2,943	OK	4,795	7	4,144	36
	$[\pi/4; 2\pi]$	0,073	0,027	0,046	2,847	OK	4,412	8	3,943	38
	$[\pi/4; \pi]$	0,227	0,138	0,089	1,715	OK	4,284	9	2,966	43
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,119	0,080	0,039	1,723	OK	1,294	10	2,060	49
[0; 1,6 π]	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	0,334	0,095	0,239	3,675	OK	12,599	1	6,141	22
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0,269	0,088	0,181	3,220	OK	9,982	2	5,110	28
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	0,193	0,066	0,127	3,207	OK	8,676	3	4,788	30
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	0,097	0,034	0,063	2,847	OK	6,548	4	3,961	37
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,149	0,064	0,085	2,754	OK	6,508	5	3,880	39
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	0,142	0,057	0,086	2,589	OK	5,823	6	3,574	40
	$[\pi/4; \pi]$	0,154	0,124	0,030	1,310	OK	3,818	7	1,922	50
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0,062	0,030	0,032	2,167	OK	3,628	8	2,677	44
	$[\pi/4; 2\pi]$	0,043	0,024	0,020	1,938	OK	2,653	9	2,242	47
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,080	0,062	0,017	1,643	OK	1,677	10	1,760	51
[0; 2 π]	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	0,175	0,079	0,097	2,352	OK	11,973	1	3,306	42
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0,130	0,058	0,072	2,542	OK	11,144	2	3,462	41
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	0,076	0,042	0,033	1,925	OK	7,022	3	2,249	46
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,057	0,039	0,018	1,650	OK	5,327	4	1,722	52
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	0,053	0,036	0,018	1,509	OK	4,568	5	1,461	53
	$[\pi/4; \pi]$	0,066	0,096	-0,030	0,739	X	3,376	6	0,699	56
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	0,029	0,027	0,002	1,107	X	2,148	7	0,696	57
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,026	0,034	-0,008	0,931	X	1,257	8	0,375	58
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0,016	0,022	-0,006	0,743	X	0,323	9	0,067	59
	$[\pi/4; 2\pi]$	0,011	0,016	-0,005	0,765	X	0,144	10	0,049	60

Tabelul A.2.2

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu *dfPRE* (din *setul III*) al domeniilor *dfPSLM* – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.

<i>dfPSLM</i>	<i>dfPRE</i>	<i>icCEDrx</i>	<i>icCEDry</i>	<i>Dif.</i>	<i>CEDxy</i>	<i>CEDxy</i>	<i>Lp</i>	lerarhie	<i>LpT</i>	lerarhie
		<i>minim</i>	<i>maxim</i>	<i>icCED</i>	<i>minim</i>	<i>Ok</i>	<i>p = 3</i>	Lp	<i>p = 3</i>	LpT
[0; $\pi/2$]	$[-3\pi/4; 3\pi/4]$	0,369	0,074	0,296	5,680	OK	10,085	1	10,255	1
	$[-\pi/4; \pi/4]$	0,806	0,426	0,379	1,965	OK	9,337	2	9,520	5
	[0; $\pi/2$]	0,772	0,682	0,089	1,287	OK	8,806	3	9,046	7
	$[-\pi/2; \pi/2]$	0,615	0,177	0,438	3,529	OK	7,603	4	8,307	10
	$[-\pi; \pi]$	0,171	0,045	0,126	3,860	OK	6,148	5	6,566	16
	[0; 2 π]	0,167	0,045	0,122	3,860	OK	6,148	6	6,563	17

<i>dfPSLM</i>	<i>dfPRE</i>	<i>icCEDrx</i> <i>minim</i>	<i>icCEDry</i> <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> <i>icCED</i>	<i>CEDxy</i> <i>minim</i>	<i>CEDxy</i> <i>Ok</i>	<i>Lp</i> <i>p = 3</i>	<i>ierarhie</i> <i>Lp</i>	<i>LpT</i> <i>p = 3</i>	<i>ierarhie</i> <i>LpT</i>
	[0; 3π/2]	0,398	0,135	0,263	3,020	OK	4,956	7	6,004	19
	[0; π]	0,854	0,932	-0,079	0,956	X	10,000	8	10,003	37
[0; π]	[-π/4; π/4]	0,637	0,145	0,492	4,585	OK	11,514	9	9,672	3
	[-π/2; π/2]	0,435	0,081	0,354	5,468	OK	10,759	10	10,040	2
	[-3π/4; 3π/4]	0,228	0,042	0,186	5,473	OK	10,050	1	9,666	4
	[0; π/2]	0,584	0,198	0,386	3,412	OK	9,674	2	7,923	13
	[0; 2π]	0,093	0,030	0,063	3,245	OK	5,168	3	5,343	21
	[-π; π]	0,093	0,030	0,063	3,245	OK	5,168	4	5,343	22
	[0; 3π/2]	0,269	0,127	0,143	2,244	OK	3,935	5	4,108	28
	[0; π]	0,224	0,259	-0,036	0,862	X	2,401	6	2,579	38
[0; 1,2π]	[-π/4; π/4]	0,533	0,111	0,422	4,904	OK	12,599	7	9,499	6
	[0; π/2]	0,494	0,129	0,365	4,368	OK	11,257	8	8,480	8
	[-π/2; π/2]	0,345	0,073	0,271	4,726	OK	10,296	9	8,476	9
	[-3π/4; 3π/4]	0,162	0,035	0,127	4,615	OK	9,326	10	7,990	12
	[-π; π]	0,060	0,024	0,037	2,803	OK	4,829	1	4,487	25
	[0; 2π]	0,060	0,024	0,037	2,803	OK	4,829	2	4,487	26
	[0; 3π/2]	0,202	0,111	0,092	1,961	OK	3,636	3	3,297	30
	[0; π]	0,132	0,168	-0,036	0,841	X	1,518	4	1,528	39
[0; 1,4π]	[-π/4; π/4]	0,432	0,103	0,328	4,280	OK	12,599	5	8,030	11
	[0; π/2]	0,396	0,116	0,280	3,609	OK	10,804	6	6,811	14
	[-π/2; π/2]	0,262	0,070	0,192	3,773	OK	9,270	7	6,560	18
	[-3π/4; 3π/4]	0,104	0,035	0,069	2,943	OK	6,018	8	4,773	24
	[0; 2π]	0,033	0,019	0,014	2,025	OK	3,195	9	2,992	33
	[-π; π]	0,033	0,019	0,014	2,025	OK	3,195	10	2,992	34
	[0; 3π/2]	0,138	0,093	0,045	1,633	OK	2,978	1	2,461	35
	[0; π]	0,081	0,102	-0,021	0,966	X	1,207	2	1,155	43
[0; 1,6π]	[-π/4; π/4]	0,334	0,095	0,239	3,675	OK	12,599	3	6,625	15
	[0; π/2]	0,305	0,107	0,198	3,107	OK	10,664	4	5,579	20
	[-π/2; π/2]	0,188	0,061	0,128	3,127	OK	8,590	5	5,226	23
	[-3π/4; 3π/4]	0,062	0,030	0,032	2,167	OK	4,006	6	3,272	31
	[0; π]	0,056	0,055	0,000	1,201	OK	1,264	7	1,441	36
	[0; 3π/2]	0,085	0,082	0,003	1,186	X	2,182	8	1,505	40
	[-π; π]	0,015	0,013	0,002	1,195	X	0,037	9	1,399	41
	[0; 2π]	0,015	0,013	0,002	1,195	X	0,037	10	1,399	42
[0; 2π]	[-π/4; π/4]	0,175	0,079	0,097	2,352	OK	11,950	1	3,808	29
	[0; π/2]	0,149	0,067	0,081	2,584	OK	11,682	2	4,155	27
	[-π/2; π/2]	0,078	0,040	0,038	2,087	OK	8,062	3	3,130	32
	[-3π/4; 3π/4]	0,016	0,022	-0,006	0,743	X	1,338	4	0,533	44
	[0; 2π]	0,007	0,016	-0,008	0,658	X	0,909	5	0,369	45
	[-π; π]	0,007	0,016	-0,008	0,658	X	0,909	6	0,369	46
	[0; 3π/2]	0,022	0,057	-0,034	0,465	X	0,905	7	0,180	47
	[0; π]	0,020	0,050	-0,030	0,466	X	0,774	8	0,154	48

Tabelul A.2.3

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (din setul I) al domeniilor $dfPSLM$. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor $F1_{45}$ și $F1_{90}$, și cu imagine non-referință iluminată frontal (de tip Fy_{00} , Fig. 5.6 a).

$dfPSLM$	$dfPRE$	$icCEDrx$ <i>minim</i>	$icCEDry$ <i>maxim</i>	$Dif.$ $icCED$	$CEDxy$ <i>minim</i>	$CEDxy$ <i>Ok</i>	Lp $p = 3$	Ierarhie Lp	LpT $p = 3$	Ierarhie LpT
[0; $\pi/2$]	$[-\pi/4;\pi]$	0,273	0,289	-0,017	0,943	X	10,048	9	10,006	4
	$[-\pi/4;5\pi/4]$	0,175	0,152	0,023	1,153	X	6,621	10	6,288	14
	$[-\pi/4;3\pi/2]$	0,155	0,105	0,050	1,476	OK	6,225	5	5,726	19
	$[-\pi/4;7\pi/4]$	0,177	0,068	0,110	2,616	OK	8,373	1	7,928	6
	$[-\pi/4;2\pi]$	0,104	0,052	0,052	1,998	OK	5,798	6	5,041	23
	$[-3\pi/4;5\pi/4]$	0,175	0,074	0,101	2,361	OK	7,897	2	7,411	9
	$[-3\pi/4;3\pi/2]$	0,155	0,060	0,095	2,587	OK	7,866	3	7,365	10
	$[-3\pi/4;7\pi/4]$	0,129	0,059	0,070	2,197	OK	6,614	4	5,966	18
	$[-3\pi/4;7,4\pi/4]$	0,109	0,056	0,053	1,937	OK	5,752	7	4,998	24
	$[-3\pi/4;2\pi]$	0,082	0,050	0,032	1,635	OK	4,695	8	3,796	34
[0; π]	$[-\pi/4;\pi]$	0,264	0,093	0,172	2,853	OK	10,954	1	10,755	1
	$[-\pi/4;5\pi/4]$	0,157	0,084	0,073	1,872	OK	6,742	3	6,185	15
	$[-\pi/4;3\pi/2]$	0,188	0,080	0,108	2,336	OK	8,193	2	7,746	7
	$[-\pi/4;7\pi/4]$	0,130	0,066	0,064	1,964	OK	6,213	4	5,539	22
	$[-\pi/4;2\pi]$	0,076	0,056	0,020	1,366	OK	4,041	10	3,093	38
	$[-3\pi/4;5\pi/4]$	0,140	0,077	0,063	1,811	OK	6,210	5	5,581	21
	$[-3\pi/4;3\pi/2]$	0,112	0,064	0,048	1,750	OK	5,452	6	4,691	28
	$[-3\pi/4;7\pi/4]$	0,086	0,053	0,033	1,614	OK	4,713	7	3,827	33
	$[-3\pi/4;7,4\pi/4]$	0,080	0,052	0,029	1,558	OK	4,508	8	3,591	36
	$[-3\pi/4;2\pi]$	0,071	0,048	0,023	1,475	OK	4,190	9	3,220	37
[0;1,2 π]	$[-\pi/4;\pi]$	0,234	0,076	0,158	3,072	OK	10,444	1	10,206	3
	$[-\pi/4;5\pi/4]$	0,140	0,066	0,074	2,130	OK	6,729	3	6,108	17
	$[-\pi/4;3\pi/2]$	0,152	0,067	0,085	2,267	OK	7,230	2	6,664	12
	$[-\pi/4;7\pi/4]$	0,095	0,060	0,035	1,586	OK	4,821	6	3,978	32
	$[-\pi/4;2\pi]$	0,150	0,056	0,095	2,697	X	7,989	10	7,507	8
	$[-3\pi/4;5\pi/4]$	0,119	0,073	0,046	1,632	OK	5,415	4	4,697	27
	$[-3\pi/4;3\pi/2]$	0,095	0,059	0,036	1,611	OK	4,866	5	4,023	30
	$[-3\pi/4;7\pi/4]$	0,068	0,048	0,020	1,428	OK	4,051	7	3,063	40
	$[-3\pi/4;7,4\pi/4]$	0,064	0,047	0,018	1,380	OK	3,888	8	2,874	44
	$[-3\pi/4;2\pi]$	0,060	0,043	0,017	1,398	OK	3,871	9	2,841	45
[0;1,4 π]	$[-\pi/4;\pi]$	0,179	0,063	0,116	2,849	OK	8,827	1	8,435	5
	$[-\pi/4;5\pi/4]$	0,124	0,059	0,065	2,118	OK	6,380	2	5,705	20
	$[-\pi/4;3\pi/2]$	0,110	0,059	0,050	1,849	OK	5,595	3	4,832	25
	$[-\pi/4;7\pi/4]$	0,062	0,053	0,009	1,171	X	3,414	10	2,387	46
	$[-\pi/4;2\pi]$	0,133	0,052	0,080	2,535	X	7,362	9	6,805	11
	$[-3\pi/4;5\pi/4]$	0,102	0,068	0,034	1,493	OK	4,800	4	4,004	31
	$[-3\pi/4;3\pi/2]$	0,071	0,052	0,019	1,368	OK	3,966	5	2,989	42
	$[-3\pi/4;7\pi/4]$	0,051	0,041	0,009	1,225	OK	3,376	7	2,276	48
	$[-3\pi/4;7,4\pi/4]$	0,049	0,041	0,009	1,214	OK	3,334	8	2,224	50
	$[-3\pi/4;2\pi]$	0,048	0,037	0,010	1,276	OK	3,463	6	2,361	47
[0;1,6 π]	$[-\pi/4;\pi]$	0,135	0,055	0,080	2,452	OK	7,233	1	6,658	13
	$[-\pi/4;5\pi/4]$	0,099	0,051	0,048	1,930	OK	5,570	2	4,783	26
	$[-\pi/4;3\pi/2]$	0,071	0,051	0,020	1,396	OK	4,023	3	3,046	41
	$[-\pi/4;7\pi/4]$	0,037	0,046	-0,010	0,793	X	2,233	10	1,066	57

<i>dfPSLM</i>	<i>dfPRE</i>	<i>icCEDrx</i> <i>minim</i>	<i>icCEDry</i> <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> <i>icCED</i>	<i>CEDxy</i> <i>minim</i>	<i>CEDxy</i> <i>Ok</i>	<i>Lp</i> <i>p = 3</i>	ierarhie <i>Lp</i>	<i>LpT</i> <i>p = 3</i>	ierarhie <i>LpT</i>
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,112	0,047	0,066	2,410	X	6,797	5	6,170	16
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,074	0,056	0,018	1,318	OK	3,918	4	2,963	43
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	0,057	0,049	0,008	1,166	X	3,327	6	2,262	49
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,036	0,034	0,002	1,044	X	2,805	9	1,601	55
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,036	0,034	0,002	1,064	X	2,853	8	1,655	53
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,035	0,030	0,004	1,146	X	3,050	7	1,877	51
[0;2 π]	$[-\pi/4; \pi]$	0,068	0,041	0,028	1,681	OK	4,618	1	3,687	35
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,046	0,030	0,016	1,541	OK	4,095	2	3,085	39
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,031	0,036	-0,005	0,869	X	2,350	7	1,094	56
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,131	0,034	0,097	3,857	X	10,357	3	10,305	2
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,036	0,034	0,002	1,059	X	2,844	6	1,645	54
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,046	0,044	0,002	1,046	X	2,919	5	1,780	52
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	0,020	0,036	-0,016	0,545	X	1,472	10	0,265	60
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,040	0,020	0,020	1,986	X	5,188	4	4,370	29
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,015	0,018	-0,003	0,831	X	2,166	8	0,863	58
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,013	0,015	-0,003	0,826	X	2,149	9	0,848	59

Tabelul A.2.4

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu *dfPRE* (din *setul II*) al domeniilor *dfPSLM*. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor *F1 45* și *F1 90*, și cu imagine non-referință iluminată frontal (de tip *Fy 00*, Fig. 5.6 a).

<i>dfPSLM</i>	<i>dfPRE</i>	<i>icCEDrx</i> <i>minim</i>	<i>icCEDry</i> <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> <i>icCED</i>	<i>CEDxy</i> <i>minim</i>	<i>CEDxy</i> <i>Ok</i>	<i>Lp</i> <i>p = 3</i>	ierarhie <i>Lp</i>	<i>LpT</i> <i>p = 3</i>	ierarhie <i>LpT</i>
[0; $\pi/2$]	$[\pi/4; \pi]$	0,196	0,324	-0,128	0,605	X	2,471	10	2,060	48
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	0,287	0,413	-0,126	0,694	X	3,535	8	3,199	35
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	0,465	0,242	0,223	1,920	X	6,187	5	5,768	7
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0,217	0,148	0,069	1,463	OK	3,555	2	2,805	41
	$[\pi/4; 2\pi]$	0,205	0,094	0,111	2,180	OK	4,717	1	4,011	25
	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	0,830	1,132	-0,302	0,733	X	10,011	3	10,000	2
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0,536	0,757	-0,221	0,708	X	6,479	4	6,315	4
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	0,399	0,494	-0,095	0,807	X	4,867	6	4,600	15
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,356	0,412	-0,055	0,866	X	4,395	7	4,078	24
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,273	0,289	-0,017	0,943	X	3,496	9	3,049	37
[0; π]	$[\pi/4; \pi]$	0,689	0,142	0,547	4,867	OK	11,626	1	11,592	1
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	0,534	0,155	0,379	3,444	OK	8,529	2	8,199	3
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	0,148	0,118	0,031	1,263	OK	2,851	10	1,978	50
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0,158	0,110	0,048	1,440	OK	3,201	9	2,346	45
	$[\pi/4; 2\pi]$	0,167	0,095	0,073	1,766	OK	3,824	8	3,019	38
	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	0,314	0,242	0,071	1,294	OK	4,174	7	3,667	29
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0,346	0,187	0,159	1,850	OK	5,030	6	4,459	19
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	0,325	0,121	0,203	2,673	OK	6,086	5	5,528	10
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,302	0,109	0,193	2,778	OK	6,164	4	5,615	9
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,264	0,093	0,172	2,853	OK	6,160	3	5,618	8
[0;1,2 π]	$[\pi/4; \pi]$	0,174	0,122	0,052	1,427	OK	3,255	6	2,426	43
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	0,158	0,122	0,036	1,296	OK	2,955	8	2,101	47
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	0,125	0,103	0,022	1,210	OK	2,659	10	1,741	53
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0,129	0,096	0,033	1,340	OK	2,909	9	2,006	49

dfP_{SLM}	$dfPRE$	$icCED_{rx}$ minim	$icCED_{ry}$ maxim	Dif. $icCED$	CED_{xy} minim	CED_{xy} Ok	L_p $p = 3$	ierarhie L_p	$L_p T$ $p = 3$	ierarhie $L_p T$
	$[\pi/4; 2\pi]$	0,126	0,084	0,042	1,498	OK	3,198	7	2,318	46
	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	0,285	0,178	0,107	1,599	OK	4,232	5	3,594	30
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0,311	0,132	0,179	2,356	OK	5,496	2	4,885	12
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	0,269	0,114	0,155	2,362	OK	5,292	4	4,651	14
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,244	0,099	0,145	2,463	OK	5,373	3	4,739	13
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,234	0,076	0,158	3,072	OK	6,494	1	6,004	6
$[0; 1,4\pi]$	$[\pi/4; \pi]$	0,204	0,113	0,092	1,816	OK	4,058	6	3,290	33
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	0,150	0,101	0,049	1,483	OK	3,246	7	2,383	44
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	0,107	0,088	0,018	1,208	OK	2,592	9	1,647	55
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0,103	0,081	0,021	1,263	OK	2,686	8	1,747	52
	$[\pi/4; 2\pi]$	0,091	0,075	0,015	1,206	OK	2,547	10	1,589	56
	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	0,262	0,155	0,107	1,695	OK	4,192	5	3,502	31
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0,276	0,121	0,155	2,286	OK	5,199	2	4,552	16
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	0,218	0,098	0,121	2,233	OK	4,860	3	4,170	23
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,191	0,087	0,104	2,201	OK	4,712	4	4,006	26
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,179	0,063	0,116	2,849	OK	5,951	1	5,407	11
$[0; 1,6\pi]$	$[\pi/4; \pi]$	0,232	0,098	0,133	2,360	OK	5,140	2	4,481	18
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	0,140	0,081	0,059	1,727	OK	3,672	7	2,847	40
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	0,095	0,076	0,019	1,251	OK	2,643	8	1,697	54
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0,089	0,082	0,007	1,085	X	2,310	9	1,329	57
	$[\pi/4; 2\pi]$	0,067	0,066	0,001	1,019	X	2,133	10	1,124	58
	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	0,241	0,120	0,122	2,014	OK	4,571	5	3,861	28
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0,241	0,103	0,139	2,352	OK	5,161	1	4,504	17
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	0,173	0,078	0,094	2,208	OK	4,678	4	3,971	27
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,145	0,072	0,073	2,014	OK	4,241	6	3,484	32
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,135	0,055	0,080	2,452	OK	5,094	3	4,452	20
$[0; 2\pi]$	$[\pi/4; \pi]$	0,264	0,085	0,179	3,104	OK	6,631	1	6,149	5
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	0,125	0,065	0,060	1,925	OK	4,026	4	3,247	34
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	0,095	0,070	0,025	1,362	OK	2,861	8	1,940	51
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0,038	0,070	-0,032	0,543	X	1,141	10	0,081	60
	$[\pi/4; 2\pi]$	0,032	0,048	-0,017	0,651	X	1,348	9	0,250	59
	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	0,206	0,091	0,115	2,261	OK	4,872	3	4,184	22
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0,172	0,074	0,099	2,346	OK	4,945	2	4,272	21
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	0,108	0,057	0,051	1,903	OK	3,959	5	3,176	36
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,086	0,047	0,039	1,825	OK	3,776	6	2,976	39
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,068	0,041	0,028	1,681	OK	3,469	7	2,636	42

Tabelul A.2.5

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (din *setul I*) al domeniilor dfP_{SLM} . Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor FI_{45} și FI_{90} , și cu imagine non-referință iluminată lateral (de tip Fy_{45}) (Fig. 5.6 b).

dfP_{SLM}	$dfPRE$	$icCED_{rx}$ minim	$icCED_{ry}$ maxim	Dif. $icCED$	CED_{xy} minim	CED_{xy} Ok	L_p $p = 3$	ierarhie L_p	$L_p T$ $p = 3$	ierarhie $L_p T$
$[0; \pi/2]$	$[-\pi/4; \pi]$	0,767	0,735	0,032	1,043	X	4,306	8	1,428	58
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,582	0,534	0,048	1,090	X	3,522	10	0,487	59
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,624	0,682	-0,057	0,916	X	3,550	9	0,324	60
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,977	0,565	0,412	1,730	OK	5,811	7	3,409	52
	$[-\pi/4; 2\pi]$	1,127	0,440	0,687	2,560	OK	7,361	5	5,545	34

<i>dFPSLM</i>	<i>dFPRE</i>	<i>icCEDrx</i> <i>minim</i>	<i>icCEDry</i> <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> <i>icCED</i>	<i>CEDxy</i> <i>minim</i>	<i>CEDxy</i> <i>Ok</i>	<i>Lp</i> <i>p = 3</i>	<i>lerarchie</i> <i>Lp</i>	<i>LpT</i> <i>p = 3</i>	<i>lerarchie</i> <i>LpT</i>
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,935	0,352	0,583	2,654	OK	6,899	6	5,127	39
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	1,036	0,334	0,703	3,106	OK	7,920	4	6,481	26
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	1,202	0,354	0,847	3,391	OK	8,833	2	7,601	12
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	1,301	0,404	0,897	3,217	OK	8,863	1	7,575	13
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	1,341	0,508	0,832	2,638	OK	8,253	3	6,761	20
[0; π]	$[-\pi/4; \pi]$	0,969	0,327	0,641	2,961	OK	7,501	7	5,974	30
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,684	0,481	0,203	1,422	OK	4,300	10	1,493	57
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	1,041	0,690	0,351	1,508	OK	5,908	9	3,641	50
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	1,112	0,593	0,519	1,875	OK	6,525	8	4,422	43
	$[-\pi/4; 2\pi]$	1,130	0,404	0,726	2,799	OK	7,705	6	6,041	28
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	1,025	0,302	0,724	3,398	OK	8,406	3	7,205	17
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	1,141	0,364	0,777	3,136	OK	8,253	4	6,828	19
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	1,280	0,396	0,884	3,232	OK	8,816	1	7,519	14
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	1,322	0,454	0,868	2,913	OK	8,517	2	7,098	18
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	1,315	0,495	0,821	2,658	OK	8,179	5	6,650	22
[0;1,2 π]	$[-\pi/4; \pi]$	1,086	0,275	0,812	3,956	OK	9,562	1	8,760	5
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,754	0,441	0,313	1,711	OK	4,923	10	2,370	56
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	1,122	0,685	0,437	1,638	OK	6,378	9	4,301	45
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	1,112	0,603	0,509	1,844	OK	6,500	8	4,396	44
	$[-\pi/4; 2\pi]$	1,106	0,419	0,687	2,640	OK	7,400	7	5,618	33
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	1,021	0,322	0,699	3,171	OK	7,995	5	6,614	23
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	1,161	0,396	0,765	2,930	OK	7,995	6	6,434	27
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	1,329	0,413	0,916	3,217	OK	8,954	2	7,692	11
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	1,357	0,467	0,890	2,907	OK	8,636	3	7,263	16
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	1,296	0,472	0,824	2,748	OK	8,213	4	6,688	21
[0;1,4 π]	$[-\pi/4; \pi]$	0,989	0,232	0,756	4,256	OK	9,984	1	9,457	3
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,902	0,406	0,496	2,223	OK	6,135	10	3,995	47
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	1,145	0,694	0,451	1,650	OK	6,494	8	4,473	42
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	1,080	0,590	0,490	1,829	OK	6,346	9	4,170	46
	$[-\pi/4; 2\pi]$	1,048	0,406	0,642	2,580	OK	7,123	7	5,273	36
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,953	0,319	0,634	2,988	OK	7,511	5	6,017	29
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	1,096	0,430	0,666	2,551	OK	7,242	6	5,396	35
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	1,396	0,490	0,907	2,852	OK	8,717	3	7,385	15
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	1,432	0,450	0,982	3,180	OK	9,256	2	8,099	9
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	1,276	0,464	0,812	2,751	OK	8,144	4	6,592	24
[0;1,6 π]	$[-\pi/4; \pi]$	0,991	0,221	0,771	4,492	OK	10,463	1	10,102	1
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,972	0,365	0,608	2,668	OK	7,025	6	5,248	37
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	1,153	0,717	0,437	1,610	OK	6,503	8	4,508	41
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	1,009	0,556	0,452	1,813	OK	6,028	10	3,708	49
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,912	0,354	0,558	2,579	OK	6,713	7	4,889	40
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,922	0,319	0,603	2,891	OK	7,265	5	5,711	32
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	1,027	0,529	0,498	1,940	OK	6,233	9	3,986	48
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	1,505	0,551	0,954	2,730	OK	9,018	3	7,862	10
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	1,494	0,465	1,030	3,216	OK	9,529	2	8,478	7
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	1,263	0,462	0,801	2,732	OK	8,071	4	6,494	25
[0;2 π]	$[-\pi/4; \pi]$	1,018	0,261	0,757	3,899	OK	9,327	3	8,518	6
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	1,037	0,371	0,666	2,796	OK	7,414	5	5,728	31

$dfPSLM$	$dfPRE$	$icCEDrx$ <i>minim</i>	$icCEDry$ <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> $icCED$	$CEDxy$ <i>minim</i>	$CEDxy$ <i>Ok</i>	Lp $p = 3$	ierarhie Lp	LpT $p = 3$	ierarhie LpT
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,970	0,717	0,252	1,352	OK	5,466	10	3,041	54
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,886	0,492	0,394	1,802	OK	5,521	8	3,034	55
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,969	0,235	0,735	4,132	OK	9,706	2	9,101	4
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	1,162	0,514	0,649	2,263	OK	7,129	6	5,215	38
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	0,994	0,819	0,175	1,214	OK	5,502	9	3,185	53
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	1,885	1,045	0,840	1,804	OK	10,211	1	10,051	2
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	1,648	0,906	0,742	1,819	OK	9,025	4	8,263	8
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,984	0,554	0,430	1,775	OK	5,885	7	3,509	51

Tabelul A.2.6

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (din *setul II*) al domeniilor $dfPSLM$. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor *F1 45* și *F1 90*, și cu imagine non-referință iluminată lateral (de tip *Fy 45*) (Fig. 5.6 b).

$dfPSLM$	$dfPRE$	$icCEDrx$ <i>minim</i>	$icCEDry$ <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> $icCED$	$CEDxy$ <i>minim</i>	$CEDxy$ <i>Ok</i>	Lp $p = 3$	ierarhie Lp	LpT $p = 3$	ierarhie LpT
[0; $\pi/2$]	$[\pi/4; \pi]$	0,958	0,537	0,421	1,783	X	6,035	7	4,943	40
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	0,466	0,861	-0,395	0,542	X	2,833	10	1,108	58
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	1,121	0,540	0,581	2,075	X	7,057	3	6,189	26
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0,775	0,506	0,270	1,534	OK	4,930	2	3,588	47
	$[\pi/4; 2\pi]$	0,950	0,399	0,550	2,378	OK	6,354	1	5,283	35
	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	1,022	1,335	-0,312	0,766	X	6,154	5	5,227	36
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	1,015	1,331	-0,316	0,763	X	6,112	6	5,175	37
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	1,053	1,151	-0,097	0,916	X	6,353	4	5,460	34
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,963	0,991	-0,028	0,972	X	5,825	8	4,795	42
[0; π]	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,767	0,735	0,032	1,043	X	4,693	9	3,361	51
[0; π]	$[\pi/4; \pi]$	1,038	0,497	0,541	2,087	X	6,617	9	5,633	29
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	0,317	0,415	-0,099	0,763	X	2,096	10	0,427	60
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	0,492	0,278	0,214	1,768	OK	3,804	8	2,488	54
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0,796	0,323	0,473	2,465	OK	5,733	6	4,573	43
	$[\pi/4; 2\pi]$	1,075	0,309	0,767	3,485	OK	7,903	1	7,114	17
	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	0,749	0,510	0,239	1,468	OK	4,756	7	3,378	50
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0,965	0,466	0,499	2,070	OK	6,225	5	5,146	39
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	1,117	0,399	0,718	2,797	OK	7,473	2	6,622	22
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	1,077	0,372	0,705	2,896	OK	7,359	3	6,477	23
[0; $1,2\pi$]	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,969	0,327	0,641	2,961	OK	6,940	4	5,981	28
[0; $1,2\pi$]	$[\pi/4; \pi]$	1,069	0,457	0,612	2,338	X	6,921	9	5,984	27
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	0,361	0,333	0,028	1,086	X	2,570	10	1,060	59
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	0,502	0,272	0,230	1,848	OK	3,934	8	2,648	53
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0,828	0,322	0,506	2,572	OK	5,971	6	4,851	41
	$[\pi/4; 2\pi]$	1,196	0,353	0,843	3,391	OK	8,324	2	7,617	10
	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	0,727	0,379	0,349	1,920	OK	4,942	7	3,606	46
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0,954	0,370	0,584	2,578	OK	6,532	5	5,493	31
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	1,106	0,328	0,777	3,367	OK	7,911	4	7,122	16
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	1,076	0,304	0,773	3,546	OK	7,970	3	7,194	15
[0; $1,4\pi$]	$[3\pi/4; 2\pi]$	1,086	0,275	0,812	3,956	OK	8,462	1	7,776	8
[0; $1,4\pi$]	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	1,097	0,275	0,822	3,990	OK	8,538	1	7,865	7
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,989	0,232	0,756	4,256	OK	8,521	2	7,887	6
	$[\pi/4; 2\pi]$	1,238	0,388	0,850	3,188	OK	8,348	3	7,665	9

<i>dfPSLM</i>	<i>dfPRE</i>	<i>icCEDrx</i> <i>minim</i>	<i>icCEDry</i> <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> <i>icCED</i>	<i>CEDxy</i> <i>minim</i>	<i>CEDxy</i> <i>Ok</i>	<i>Lp</i> <i>p = 3</i>	ierarhie <i>Lp</i>	<i>LpT</i> <i>p = 3</i>	ierarhie <i>LpT</i>
	[3π/4;7,4π/4]	1,059	0,273	0,786	3,885	OK	8,283	4	7,571	11
	[π/4;7π/4]	0,887	0,308	0,579	2,877	OK	6,523	5	5,504	30
	[3π/4;3π/2]	0,971	0,394	0,576	2,460	OK	6,515	6	5,476	32
	[3π/4;5π/4]	0,722	0,410	0,312	1,762	OK	4,795	7	3,421	49
	[π/4;3π/2]	0,520	0,262	0,258	1,986	OK	4,161	8	2,924	52
	[π/4;5π/4]	0,407	0,292	0,115	1,394	OK	3,071	9	1,680	57
	[π/4;π]	1,095	0,408	0,686	2,681	X	7,278	10	6,393	24
[0;1,6π]	[3π/4;2π]	0,991	0,221	0,771	4,492	OK	8,847	1	8,274	3
	[π/4;2π]	1,291	0,407	0,884	3,172	OK	8,591	2	7,968	5
	[3π/4;7π/4]	1,066	0,287	0,779	3,710	OK	8,108	3	7,361	14
	[π/4;7π/4]	1,119	0,340	0,779	3,294	OK	7,898	4	7,109	18
	[3π/4;7,4π/4]	1,047	0,304	0,743	3,449	OK	7,752	5	6,939	20
	[3π/4;3π/2]	0,969	0,393	0,575	2,462	OK	6,507	6	5,466	33
	[3π/4;5π/4]	0,752	0,416	0,336	1,807	OK	4,975	7	3,634	45
	[π/4;3π/2]	0,580	0,254	0,326	2,283	OK	4,725	8	3,565	48
	[π/4;5π/4]	0,463	0,264	0,199	1,754	OK	3,689	9	2,414	55
	[π/4;π]	0,510	0,360	0,150	1,416	OK	3,523	10	1,977	56
[0;2π]	[π/4;3π/2]	1,019	0,178	0,841	5,728	OK	10,709	1	10,448	1
	[π/4;2π]	1,667	0,655	1,012	2,546	OK	10,284	2	10,189	2
	[3π/4;7π/4]	1,048	0,240	0,808	4,361	OK	8,835	3	8,233	4
	[3π/4;7,4π/4]	1,032	0,263	0,769	3,917	OK	8,228	4	7,514	12
	[3π/4;2π]	1,018	0,261	0,757	3,899	OK	8,157	5	7,435	13
	[π/4;7π/4]	1,233	0,530	0,703	2,326	OK	7,785	6	7,071	19
	[π/4;π]	0,965	0,265	0,700	3,645	OK	7,672	7	6,874	21
	[3π/4;3π/2]	1,007	0,325	0,681	3,093	OK	7,229	8	6,322	25
	[π/4;5π/4]	0,668	0,216	0,452	3,095	OK	6,056	9	5,154	38
	[3π/4;5π/4]	0,798	0,340	0,459	2,351	OK	5,635	10	4,445	44

Tabelul A.2.7

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu *dfPRE* (din *setul I*) al domeniilor *dfPSLM*. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor *F1 45* și *F1 90*, și cu imagine non-referință iluminată lateral (de tip *Fy 90*) (Fig. 5.6 c).

<i>dfPSLM</i>	<i>dfPRE</i>	<i>icCEDrx</i> <i>minim</i>	<i>icCEDry</i> <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> <i>icCED</i>	<i>CEDxy</i> <i>minim</i>	<i>CEDxy</i> <i>Ok</i>	<i>Lp</i> <i>p = 3</i>	ierarhie <i>Lp</i>	<i>LpT</i> <i>p = 3</i>	ierarhie <i>LpT</i>
[0;π/2]	[-π/4;π]	0,990	0,992	-0,002	0,998	X	9,527	10	9,417	60
	[-π/4;5π/4]	0,943	0,759	0,184	1,242	OK	9,110	7	8,897	26
	[-π/4;3π/2]	0,991	0,508	0,482	1,949	OK	9,713	5	9,474	24
	[-π/4;7π/4]	1,042	0,325	0,717	3,204	OK	10,784	1	10,508	8
	[-π/4;2π]	0,635	0,271	0,364	2,344	OK	6,879	9	5,837	41
	[-3π/4;5π/4]	0,976	0,367	0,610	2,662	OK	9,893	4	9,527	23
	[-3π/4;3π/2]	0,979	0,344	0,635	2,845	OK	10,026	3	9,649	21
	[-3π/4;7π/4]	0,933	0,269	0,664	3,467	OK	10,131	2	9,664	20
	[-3π/4;7,4π/4]	0,817	0,236	0,581	3,461	OK	9,295	6	8,636	28
	[-3π/4;2π]	0,654	0,213	0,441	3,072	OK	7,779	8	6,806	38
[0;π]	[-π/4;π]	1,007	0,376	0,631	2,677	OK	10,164	5	9,855	18
	[-π/4;5π/4]	0,963	0,341	0,622	2,822	OK	9,877	6	9,471	25
	[-π/4;3π/2]	0,986	0,212	0,774	4,652	OK	11,755	1	11,578	2

<i>dfPSLM</i>	<i>dfPRE</i>	<i>icCEDrx</i> <i>minim</i>	<i>icCEDry</i> <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> <i>icCED</i>	<i>CEDxy</i> <i>minim</i>	<i>CEDxy</i> <i>Ok</i>	<i>Lp</i> <i>p = 3</i>	<i>lerarhie</i> <i>Lp</i>	<i>LpT</i> <i>p = 3</i>	<i>lerarhie</i> <i>LpT</i>
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,693	0,142	0,550	4,862	OK	10,573	4	10,289	12
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,477	0,126	0,351	3,798	OK	8,037	10	7,234	34
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,973	0,231	0,742	4,209	OK	11,164	3	10,864	7
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	1,021	0,230	0,790	4,432	OK	11,727	2	11,537	3
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,708	0,176	0,531	4,014	OK	9,333	7	8,690	27
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,620	0,170	0,450	3,648	OK	8,366	9	7,524	32
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,560	0,141	0,420	3,986	OK	8,639	8	7,924	31
[0;1,2 π]	$[-\pi/4; \pi]$	0,999	0,291	0,708	3,432	OK	10,610	4	10,257	14
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,980	0,269	0,711	3,640	OK	10,642	3	10,268	13
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,848	0,193	0,655	4,386	OK	10,600	5	10,203	15
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,492	0,132	0,360	3,719	OK	7,954	7	7,108	36
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,390	0,111	0,279	3,510	OK	7,284	9	6,358	40
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,987	0,231	0,756	4,275	OK	11,328	2	11,059	6
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	1,008	0,232	0,776	4,341	OK	11,539	1	11,313	4
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,630	0,181	0,449	3,477	OK	8,175	6	7,280	33
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,538	0,182	0,356	2,961	OK	6,965	10	5,815	42
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,505	0,140	0,365	3,596	OK	7,792	8	6,885	37
[0;1,4 π]	$[-\pi/4; \pi]$	0,855	0,274	0,582	3,126	OK	9,239	4	8,617	29
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,995	0,227	0,769	4,393	OK	11,514	2	11,283	5
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,610	0,149	0,461	4,091	OK	9,004	5	8,346	30
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,323	0,129	0,194	2,500	OK	5,319	10	3,879	52
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,315	0,111	0,204	2,848	OK	5,906	9	4,662	48
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	1,021	0,218	0,803	4,685	OK	12,019	1	11,891	1
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	1,014	0,288	0,726	3,517	OK	10,795	3	10,472	9
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,550	0,193	0,357	2,856	OK	6,889	6	5,724	43
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,471	0,177	0,294	2,657	OK	6,192	8	4,880	46
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,456	0,156	0,300	2,916	OK	6,506	7	5,277	45
[0;1,6 π]	$[-\pi/4; \pi]$	0,727	0,259	0,468	2,810	OK	7,995	4	7,125	35
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,927	0,222	0,705	4,179	OK	10,826	1	10,459	10
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,403	0,114	0,289	3,543	OK	7,376	5	6,462	39
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,200	0,123	0,077	1,623	OK	3,422	10	1,571	58
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,283	0,106	0,177	2,676	OK	5,520	7	4,203	50
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	1,022	0,312	0,711	3,279	OK	10,675	2	10,362	11
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	1,022	0,373	0,649	2,742	OK	10,329	3	10,042	17
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,473	0,190	0,283	2,486	OK	5,965	6	4,610	49
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,400	0,170	0,230	2,358	OK	5,404	8	3,923	51
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,397	0,179	0,218	2,218	OK	5,189	9	3,666	53
[0;2 π]	$[-\pi/4; \pi]$	0,504	0,181	0,323	2,786	OK	6,542	4	5,303	44
	$[-\pi/4; 5\pi/4]$	0,501	0,205	0,296	2,446	OK	6,074	5	4,755	47
	$[-\pi/4; 3\pi/2]$	0,202	0,085	0,117	2,371	OK	4,796	6	3,390	54
	$[-\pi/4; 7\pi/4]$	0,146	0,098	0,048	1,484	OK	3,037	10	1,199	59
	$[-\pi/4; 2\pi]$	0,452	0,089	0,363	5,058	OK	10,266	1	10,132	16
	$[-3\pi/4; 5\pi/4]$	0,996	0,470	0,526	2,120	OK	9,816	3	9,559	22
	$[-3\pi/4; 3\pi/2]$	1,025	0,627	0,398	1,636	OK	9,950	2	9,822	19
	$[-3\pi/4; 7\pi/4]$	0,404	0,224	0,180	1,806	OK	4,698	7	3,166	55
	$[-3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,293	0,178	0,115	1,647	OK	3,841	8	2,041	56
	$[-3\pi/4; 2\pi]$	0,271	0,182	0,089	1,487	OK	3,502	9	1,648	57

Tabelul A.2.8

Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (din *setul II*) al domeniilor $dfPSLM$. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor FI_{45} și FI_{90} , și cu imagine non-referință iluminată lateral (de tip Fy_{90}) (Fig. 5.6 c).

$dfPSLM$	$dfPRE$	$icCEDrx$	$icCEDry$	$Dif.$	$CEDxy$	$CEDxy$	Lp	Ierarhie	LpT	Ierarhie
		<i>minim</i>	<i>maxim</i>	<i>icCED</i>	<i>minim</i>	<i>Ok</i>			$p = 3$	
[0; $\pi/2$]	[$\pi/4$; π]	0,992	1,039	-0,046	0,955	X	9,322	7	8,671	57
	[$\pi/4$; $5\pi/4$]	0,942	1,083	-0,140	0,871	X	8,851	10	7,786	60
	[$\pi/4$; $3\pi/2$]	0,962	0,986	-0,024	0,976	X	9,044	9	8,139	59
	[$\pi/4$; $7\pi/4$]	1,039	0,590	0,449	1,762	OK	9,869	1	9,535	13
	[$\pi/4$; 2π]	1,016	0,443	0,573	2,296	OK	9,827	2	9,246	22
	[$3\pi/4$; $5\pi/4$]	1,024	1,287	-0,262	0,796	X	9,610	4	9,237	53
	[$3\pi/4$; $3\pi/2$]	1,067	1,266	-0,199	0,843	X	10,014	3	10,000	52
	[$3\pi/4$; $7\pi/4$]	1,016	1,192	-0,176	0,853	X	9,539	5	9,095	54
	[$3\pi/4$; $7,4\pi/4$]	1,007	1,104	-0,096	0,913	X	9,459	6	8,937	55
[$3\pi/4$; 2π]	0,990	0,992	-0,002	0,998	X	9,302	8	8,627	58	
[0; π]	[$\pi/4$; π]	1,008	0,740	0,268	1,361	OK	9,511	9	8,957	33
	[$\pi/4$; $5\pi/4$]	0,994	1,044	-0,050	0,952	X	9,335	10	8,695	56
	[$\pi/4$; $3\pi/2$]	1,020	0,478	0,541	2,132	OK	9,801	6	9,267	21
	[$\pi/4$; $7\pi/4$]	1,025	0,372	0,653	2,755	OK	10,113	2	9,576	12
	[$\pi/4$; 2π]	1,004	0,270	0,734	3,721	OK	10,630	1	9,984	8
	[$3\pi/4$; $5\pi/4$]	1,011	0,657	0,354	1,539	OK	9,565	8	9,015	32
	[$3\pi/4$; $3\pi/2$]	1,011	0,487	0,524	2,076	OK	9,708	7	9,109	31
	[$3\pi/4$; $7\pi/4$]	1,001	0,384	0,617	2,607	OK	9,837	5	9,115	30
	[$3\pi/4$; $7,4\pi/4$]	1,005	0,371	0,634	2,710	OK	9,921	4	9,224	24
[$3\pi/4$; 2π]	1,007	0,376	0,631	2,677	OK	9,921	3	9,243	23	
[0; $1,2\pi$]	[$\pi/4$; π]	1,014	0,548	0,466	1,851	OK	9,668	7	9,116	29
	[$\pi/4$; $5\pi/4$]	0,991	0,806	0,184	1,229	OK	9,332	9	8,643	36
	[$\pi/4$; $3\pi/2$]	1,017	0,416	0,601	2,444	OK	9,894	5	9,307	18
	[$\pi/4$; $7\pi/4$]	1,025	0,405	0,620	2,531	OK	10,007	3	9,486	15
	[$\pi/4$; 2π]	1,010	0,272	0,739	3,719	OK	10,675	1	10,070	6
	[$3\pi/4$; $5\pi/4$]	1,012	0,481	0,530	2,101	OK	9,719	6	9,119	28
	[$3\pi/4$; $3\pi/2$]	1,008	0,365	0,643	2,762	OK	9,978	4	9,309	17
	[$3\pi/4$; $7\pi/4$]	0,860	0,238	0,622	3,615	OK	9,511	8	8,020	39
	[$3\pi/4$; $7,4\pi/4$]	0,807	0,249	0,558	3,239	OK	8,770	10	6,888	44
[$3\pi/4$; 2π]	0,999	0,291	0,708	3,432	OK	10,354	2	9,640	10	
[0; $1,4\pi$]	[$\pi/4$; π]	1,009	0,416	0,592	2,422	OK	9,814	5	9,163	26
	[$\pi/4$; $5\pi/4$]	0,991	0,627	0,365	1,582	OK	9,397	7	8,680	35
	[$\pi/4$; $3\pi/2$]	1,010	0,431	0,579	2,344	OK	9,793	6	9,159	27
	[$\pi/4$; $7\pi/4$]	1,009	0,402	0,607	2,507	OK	9,858	3	9,206	25
	[$\pi/4$; 2π]	0,886	0,237	0,649	3,744	OK	9,821	4	8,498	38
	[$3\pi/4$; $5\pi/4$]	1,009	0,379	0,630	2,664	OK	9,930	2	9,268	20
	[$3\pi/4$; $3\pi/2$]	1,003	0,268	0,735	3,745	OK	10,641	1	9,988	7
	[$3\pi/4$; $7\pi/4$]	0,804	0,217	0,587	3,710	OK	9,254	8	7,621	41
	[$3\pi/4$; $7,4\pi/4$]	0,711	0,230	0,481	3,094	OK	7,979	10	5,779	46
[$3\pi/4$; 2π]	0,855	0,274	0,582	3,126	OK	9,016	9	7,316	42	
[0; $1,6\pi$]	[$\pi/4$; π]	1,011	0,322	0,689	3,139	OK	10,234	3	9,591	11
	[$\pi/4$; $5\pi/4$]	0,992	0,495	0,497	2,004	OK	9,510	6	8,753	34
	[$\pi/4$; $3\pi/2$]	1,015	0,401	0,614	2,534	OK	9,920	5	9,315	16

<i>dfPSLM</i>	<i>dfPRE</i>	<i>icCEDrx</i> <i>minim</i>	<i>icCEDry</i> <i>maxim</i>	<i>Dif.</i> <i>icCED</i>	<i>CEDxy</i> <i>minim</i>	<i>CEDxy</i> <i>Ok</i>	<i>Lp</i> <i>p = 3</i>	<i>lerarhie</i> <i>Lp</i>	<i>LpT</i> <i>p = 3</i>	<i>lerarhie</i> <i>LpT</i>
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	1,011	0,334	0,677	3,025	OK	10,159	4	9,513	14
	$[\pi/4; 2\pi]$	0,817	0,217	0,600	3,764	OK	9,394	7	7,824	40
	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	1,010	0,297	0,712	3,394	OK	10,403	2	9,760	9
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0,999	0,208	0,791	4,795	OK	11,716	1	11,272	3
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	0,752	0,202	0,550	3,723	OK	8,957	8	7,248	43
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,630	0,208	0,422	3,031	OK	7,396	10	5,226	48
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,727	0,259	0,468	2,810	OK	7,801	9	5,411	47
[0; 2 π]	$[\pi/4; \pi]$	1,015	0,204	0,811	4,979	OK	12,033	2	11,716	2
	$[\pi/4; 5\pi/4]$	1,003	0,354	0,650	2,838	OK	9,982	5	9,274	19
	$[\pi/4; 3\pi/2]$	1,028	0,240	0,789	4,291	OK	11,342	4	10,939	5
	$[\pi/4; 7\pi/4]$	0,550	0,255	0,295	2,157	OK	5,933	10	3,115	51
	$[\pi/4; 2\pi]$	0,621	0,303	0,318	2,047	OK	6,371	9	3,180	50
	$[3\pi/4; 5\pi/4]$	0,999	0,192	0,807	5,191	OK	12,211	1	11,887	1
	$[3\pi/4; 3\pi/2]$	0,995	0,217	0,779	4,595	OK	11,460	3	10,942	4
	$[3\pi/4; 7\pi/4]$	0,759	0,173	0,585	4,377	OK	9,860	6	8,588	37
	$[3\pi/4; 7,4\pi/4]$	0,583	0,162	0,421	3,598	OK	7,916	7	6,397	45
	$[3\pi/4; 2\pi]$	0,504	0,181	0,323	2,786	OK	6,380	8	4,527	49

Anexa 3

Exemplu de program de simulare a procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA) realizat în mediul de programare MathCAD v2001 – s-au respectat semnificația și notațiile mărimilor din relațiile (4.4-4.36)

ORIGIN := 1

Citire imagine comună de intrare

$A := \text{READBMP}("D:\TezaDocTMcd\S\PJTC_Dual\JTC_4N512.bmp")$

$N := \text{cols}(A)$

$i := 1..N$

$N = 512$

$N2 := \frac{N}{2}$

$j := 1..N$

$\text{minA} := \text{min}(A) \quad \text{minA} = 0$

$\text{MaxA} := \text{max}(A) \quad \text{MaxA} = 254$

Domeniul de premodulare

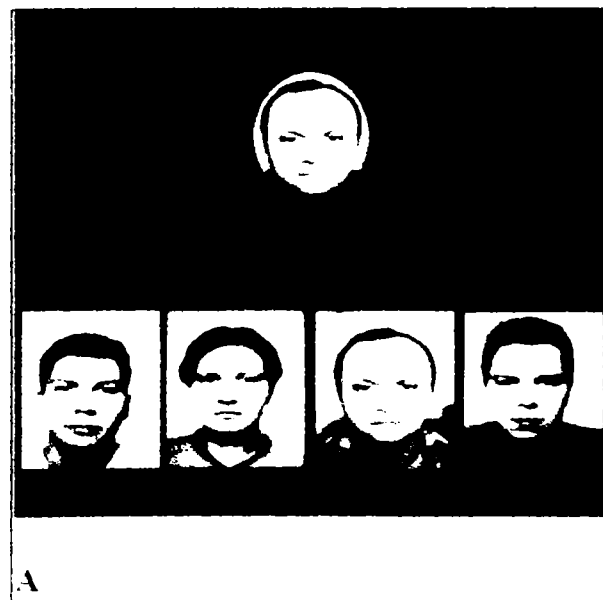
$f11 := -0.5 \cdot \pi$

$f12 := 0.5 \cdot \pi$

$dF1m := f12 - f11$

Domeniul de modulare de fază

$fPSLM := 1\pi$



Funcția de premodulare, de scalare și de transformare în fază

FPreMod(M) :=	for s ∈ 1.. rows(M) for t ∈ 1.. cols(M) T _{(s,t) ← [sin[M_{(s,t)]]}}
	T

tIm(M , minM, MaxM , Dfaz, faz0) :=	for s ∈ 1.. rows(M) for t ∈ 1.. cols(M) T _{(s,t) ← $\left[\frac{M_{(s,t)} - \text{minM}}{\text{MaxM} - \text{minM}} \right] \cdot \text{Dfaz} + \text{faz0}$}
	T

FpSLM(M) :=	for s ∈ 1.. rows(M) for t ∈ 1.. cols(M) T _{(s,t) ← exp[i · [M_{(s,t)]]}}
	T

>>> Transformarea de fază a imaginii comune :

pfIm := tIm(A , minA, MaxA , dFIm, fI1)

pfA := FPreMod(pfIm)

pfA := tIm(pfA , min(pfA) , max(pfA) , fPSLM , 0)

com := FpSLM(pfA)

>>> Prelucrare Fourier a imaginii comune :

COM := CFFT(com) ... transformarea Fourier (L1)

SPC := Mod2(COM) ... calculul spectrului de putere comun

ref := ClipL(com , 1 , round(0.5 · N)) ... definirea imaginii de referință

scn := ClipL(com , round(0.5 · N) + 1 , N) ... definirea imaginii scenei

>>> Prelucrare Referinta (scn) !!!

REF := CFFT(ref) ... transformarea Fourier (L1)

SPR := Mod2(REF) ... calculul spectrului de putere al referintei

>>> Prelucrare Scenă (scn) !!!

SCN := CFFT(scn) ... transformarea Fourier (L1)

SPS := Mod2(SCN) ... calculul spectrului de putere al scenei

SPCmf := MFlt(SPC, SPS, SPR, 0.5) ... calculul spectrului de putere comun modificat si filtrat spatial

... CORELAREA :

RCor := ICFFT(SPCmf) transformarea Fourier inversă (L2)

MRCor := Mod2(RCor) minC := min(MRCor) **MRCor := MTran(MRCor)**

LCor := ClipXL(MRCor, 1, round(0.5N))

o linie de corelatie pentru imagini 2N...

LCor := ClipXL(MRCor, round(0.5·N), N)

o linie de corelatie pentru imagini 4N...

Calculul coeficientului de eficiență la detectie, CED:

nLcor := rows(LCor) nCcor := cols(LCor)

cpi₁ := max(submatrix(LCor, 1, 1·nLcor, 1, 0.25·nCcor))

cpi₂ := max(submatrix(LCor, 1, 1·nLcor, 1 + 0.25·nCcor, 0.5·nCcor))

cpi₃ := max(submatrix(LCor, 1, 1·nLcor, 1 + 0.5·nCcor, 0.75·nCcor))

cpi₄ := max(submatrix(LCor, 1, 1·nLcor, 1 + 0.75·nCcor, 1·nCcor))

IMA := max(cpi₃) IMC := cpi

$$CED := \frac{IMA}{IMC}$$

(a se vedea relatia 3.1)

$$\text{cpi} = \begin{pmatrix} 33.509 \\ 13.5701 \\ 257.3671 \\ 18.2345 \end{pmatrix} \quad \text{IMA} = 257.3671 \quad \text{IMC} = \begin{pmatrix} 33.509 \\ 13.5701 \\ 257.3671 \\ 18.2345 \end{pmatrix} \quad \text{CED} = \begin{pmatrix} 7.6805 \\ 18.9657 \\ 1.0000 \\ 14.1143 \end{pmatrix}$$

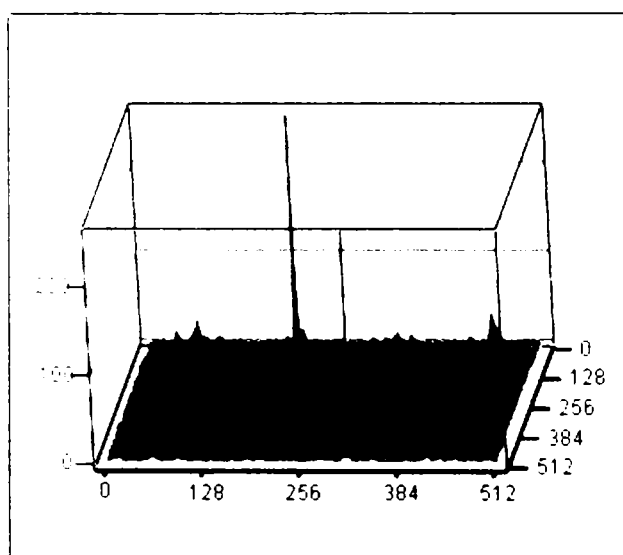
REZULTATUL FINAL :

$$\text{CED}_{\text{minim}} := \min(\text{CED}_1, \text{CED}_2, \text{CED}_4)$$

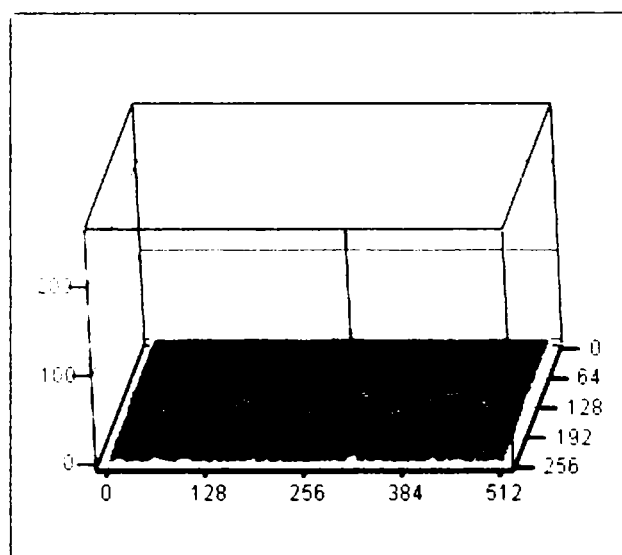
$$\text{CED}_{\text{minim}} = 7.6805$$

(a se vedea tabelul 4.5)

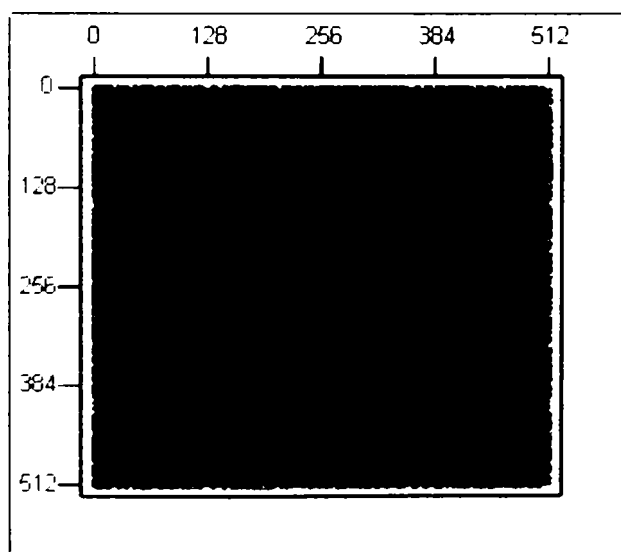
Reprezentările grafice *(a se vedea figura 4.4)*



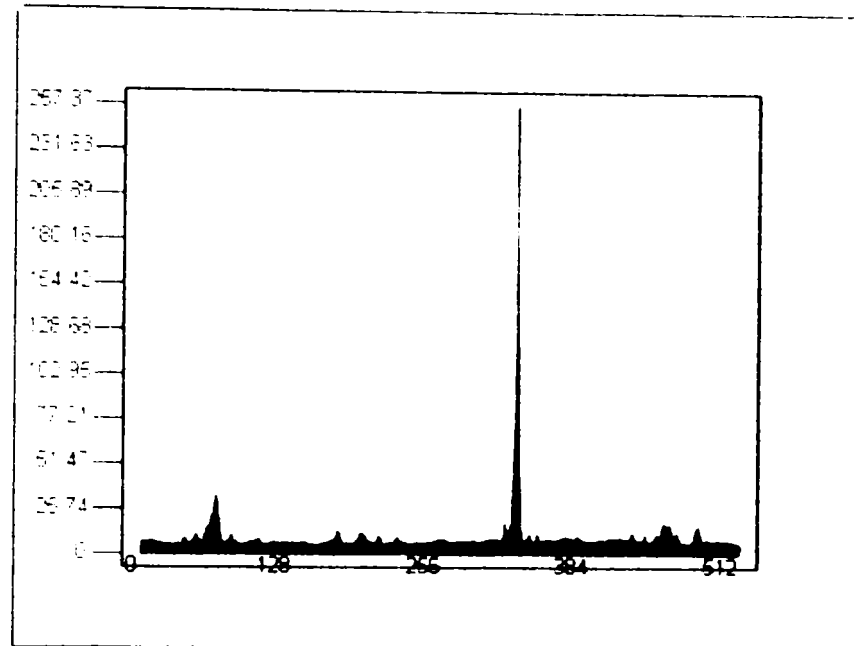
MRCor – min(MRCor)



LCor – min(LCor)



MRCor



LCor - min(LCor)

(a se vedea figura 4.21)

Descrierea funcției (subrutinei)	Forma de implementare în MathCAD v2001
Funcția prin care se „decupează” matricea M la dimensiunile $(L1 \times L2)$	<pre> ClipL(M, L1, L2) := fond ← [M(1, 1)] for s ∈ 1..rows(M) for t ∈ 1..cols(M) Mf(s, t) ← fond if (L1 ≤ s ≤ L2) "<>" Mf(s, t) ← [M(s, t)] Mf </pre>
Funcția de calcul a modulului pătrat a matricii M	<pre> Mod2(M) := for s ∈ 1..rows(M) for t ∈ 1..cols(M) re2 ← [Re[M(s, t)]]² im2 ← [Im[M(s, t)]]² MM(s, t) ← (re2 + im2) MM </pre>

Descrierea funcției (subrutinei)	Forma de implementare în MathCAD v2001
<p>Funcția cu care se realizează modificarea și filtrarea în spațiul frecvențelor spațiale</p>	<pre> MFIt(M1 , M2 , M3 , q) := for i ∈ 1.. rows(M1) for j ∈ 1.. cols(M1) Q ← [M1(i, j) - M2(i, j) - M3(i, j)] R ← [M3(i, j)]^q MF(i, j) ← $\begin{cases} \left(\frac{Q}{R}\right) & \text{if } (R > 10^{-25}) \\ \left(\frac{Q}{R + 10^{-5}}\right) & \text{otherwise} \end{cases}$ MF </pre>
<p>Funcția prin care se realizează retranspunerea circulară a unei matrici transformate Fourier cu metoda Transformata Fourier Rapidă <i>TFR</i> (<i>FFT</i> - Fast Fourier Transform)</p>	<pre> MTran(M) := nL2 ← 0.5 · rows(M) nC2 ← 0.5 · cols(M) for lin ∈ 1.. nL2 for col ∈ 1.. nC2 Taux(lin, col) ← M(lin+nL2, col+nC2) Taux(lin+nL2, col+nC2) ← M(lin, col) Taux(lin+nL2, col) ← M(lin, col+nC2) Taux(lin, col+nC2) ← M(lin+nL2, col) Taux </pre>
<p>Funcția prin care se extrage o submatrice de dimensiuni (<i>b</i>-<i>a</i>) linii cu <i>N</i> coloane dintr-o matrice, <i>Mat</i>, de dimensiuni <i>N</i>×<i>N</i>, începând de la linia cu indexul <i>a</i></p>	<pre> ClipXI(Mat , a , b) := submatrix(Mat , a , b , 1 , cols(Mat)) </pre>

Lista Figurilor

Figura 2.1	Schema de studiu a clasificării fenomenelor de difracție	17
Figura 2.2	Configurația pentru studiul propagării luminii printr-o lentilă L cu distanța focală f	19
Figura 2.3	Configurația corelatorului $4f$ de tip Vander Lugt pentru recunoașterea de forme	26
Figura 2.4	Configurația de construire a filtrului ideal adaptat, pentru recunoașterea de forme cu corelatorul $4f$ de tip Vander Lugt	27
Figura 2.5	Localizarea imaginii scenei în imaginea comună	28
Figura 2.6	Localizarea imaginii referinței în imaginea comună	28
Figura 3.1	Schema de principiu a corelatorului optic cu transformată comună (în domeniul amplitudinii) modelul clasic (COTC-CL)	36
Figura 3.2	Imaginea comună introdusă în planul de intrare al corelatorului cu transformată comună clasic (COTC-CL)	38
Figura 3.3	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorului optic cu transformată comună clasic (COTC-CL), pentru imaginea de intrare din Fig. 3.2. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy.	38
Figura 3.4	Imaginea comună introdusă în planul de intrare al corelatorului cu transformată comună clasic (COTC-CL)	39
Figura 3.5	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorului optic cu transformată comună clasic (COTC-CL), pentru imaginea de intrare din Fig. 3.4. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy.	40
Figura 3.6	Spectre de putere	42
Figura 3.7	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorului optic cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine (COTC-FmA), pentru imaginea de intrare din Fig. 3.4. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy.	44
Figura 3.8	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorului hibrid cu transformată comună modificat și cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA) pentru imaginea de intrare din Fig. 3.4. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy	48
Figura 3.9	Schema de realizare a corelatorului hibrid cu transformată comună (în domeniul amplitudinii) modificat și cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA): a – de principiu, b – hibridă	50
Figura 3.10	Bază de date de fețe umane (imagini în format bitmap – BMP, cu 255 de niveluri de gri)	52
Figura 3.11	Setul de configurații al imaginilor comune de intrare utilizate pentru măsurarea și compararea performanțelor corelatoarelor optice și hibride cu transformată comună.	53
Figura 3.12	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de ieșire a corelatorului hibrid cu transformată comună clasic (CHTC-CL) pentru imaginile comune de intrare din Fig. 3.11. Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox.	55
Figura 3.13	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de ieșire a corelatorului hibrid cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-FmA) pentru imaginile comune de intrare din Fig. 3.11. Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox.	56
Figura 3.14	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de ieșire a corelatorului hibrid cu transformată comună modificat și cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA) pentru imaginile comune de intrare din Fig. 3.11. Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox.	57
Figura 3.15	Performanțele corelatoarelor studiate pentru imagini de intrare ce conțin două imagini de comparat în imaginea scenei	60
Figura 3.16	Performanțele corelatoarelor studiate pentru imagini de intrare ce conțin patru imagini de comparat în imaginea scenei	61

Figura 3.17	Robustețea corelatoarelor în domeniul fazei cu transformată comună, la modificarea spațierii imaginilor de comparat și imaginea de referință – cazul imaginilor componente cu definiție mică	61
Figura 3.18	Robustețea corelatoarelor în domeniul fazei cu transformată comună, la modificarea spațierii imaginilor de comparat și imaginea de referință – cazul imaginilor componente cu definiție mare (512x512 pixeli).	62
Figura 3.19	Compararea performanțelor corelatoarelor hibride în domeniul amplitudinii cu transformată comună, pentru toate imaginile comune de intrare din fig. 3.11	63
Figura 4.1	Transformarea din domeniul amplitudinii în domeniul fazei.	66
Figura 4.2	Imaginile comune de intrare pentru procesul de recunoaștere de forme cu corelatorul optic cu transformată comună modelul clasic în domeniul fazei (FCOTC-CL):	74
Figura 4.3	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorul optic în domeniul fazei cu transformată comună clasic (FCOTC-CL), pentru imaginea de intrare din Fig. 4.1. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy.	74
Figura 4.4	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine, (FCHTC-FmA), pentru imaginea de intrare din Fig. 4.1. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy.	78
Figura 4.5	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) din planul de ieșire a corelatorul optic în domeniul fazei cu transformată comună modificat și cu filtru modulată în amplitudine, (FCOTC-MFmA), pentru imaginea de intrare din Fig. 4.1. Coordonatele independente reprezintă coordonatele spațiale în planul xOy.	80
Figura 4.6	Imagine comună de intrare fără zgomot și cu fond de intensitate nulă	84
Figura 4.7	Imagine comună de intrare cu zgomot ambiental lărgit și cu fond de intensitate nulă	85
Figura 4.8	Imagine comună de intrare fără zgomot și cu fond de intensitate medie nenulă	85
Figura 4.9	Imagine comună de intrare cu zgomot ambiental lărgit și cu fond de intensitate medie nenulă	85
Figura 4.10	Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$, fără zgomot și cu fond de intensitate nulă	86
Figura 4.11	Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$, fără zgomot și cu fond de intensitate medie nenulă	86
Figura 4.12	Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$, cu zgomot ambiental lărgit și cu fond de intensitate nulă	86
Figura 4.13	Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$, cu zgomot ambiental lărgit și cu fond de intensitate medie nenulă	87
Figura 4.14	Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$ și $dfPRE = [0; 2\pi]$, fără zgomot și cu fond de intensitate nulă	86
Figura 4.15	Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$ și $dfPRE = [0; 2\pi]$, fără zgomot și cu fond de intensitate medie nenulă	86
Figura 4.16	Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$ și $dfPRE = [0; 2\pi]$, cu zgomot ambiental lărgit și cu fond de intensitate nulă	86
Figura 4.17	Imagine comună de intrare, transformată în fază cu $dfPSLM = [0; \pi]$ și $dfPRE = [0; 2\pi]$, cu zgomot ambiental lărgit și cu fond de intensitate medie nenulă	87
Figura 4.18	Schema de realizare a corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA): a – de principiu, b – optică	90a 91b
Figura 4.19	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de ieșire a corelatorului optic în domeniul fazei cu transformată comună clasic (FCOTC-CL), cu $dfPSLM = [0; \pi]$, pentru imaginile comune de intrare din Fig. 3.11. Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox.	94
Figura 4.20	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de ieșire a corelatorului optic în domeniul fazei cu transformată comună cu filtru modulată în amplitudine (FCOTC-FmA), cu $dfPSLM = [0; \pi]$, pentru imaginile comune de intrare din Fig. 3.11. Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox.	95
Figura 4.21	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de ieșire a corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, modificat și cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-MFmA), cu $dfPSLM = [0; \pi]$, pentru imaginile comune de intrare din Fig. 3.11. Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox.	96
Figura 4.22	Reprezentarea grafică a intensității luminoase (axa Oz) a unei linii de corelație din planul de	97

	ieșire a corelatorului hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu imaginea de intrare preprocesată, modificat și cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA), cu $dfpre = \left[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right]$ și $dfPSLM = [0; \pi]$, pentru imaginile comune de intrare din Fig. 3.11	
	Coordonata independentă reprezintă coordonata spațială Ox.	
Figura 4.23	Dependența coeficientului de eficiență la detecție în funcție de spațierea dintre imaginile componente imaginii comune de intrare și de zgomotul aditiv – cazul imaginilor comune de intrare ce conțin două fețe umane în imaginea scenei	99
Figura 4.24	Dependența coeficientului de eficiență la detecție în funcție de spațierea dintre imaginile componente imaginii comune de intrare și de zgomotul aditiv – cazul imaginilor comune de intrare ce conțin patru fețe umane în imaginea scenei	99
Figura 4.25	Robustețea corelatoarelor în domeniul fazei cu transformată comună, la modificarea spațierii imaginilor componente la imaginii scenei și imaginea de referință – cazul imaginilor componente cu definiție mică	100
Figura 4.26	Robustețea corelatoarelor în domeniul fazei cu transformată comună, la modificarea spațierii imaginilor componente la imaginii scenei și imaginea de referință – cazul imaginilor componente cu definiție mare	101
Figura 4.27	Comparația performanțelor corelatoarelor hibride în domeniul amplitudinii și fazei cu transformată comună, pentru imaginile comune de intrare care conțin două imagini de comparat în imaginea scenei	102
Figura 4.28	Comparația performanțelor corelatoarelor hibride în domeniul amplitudinii și fazei cu transformată comună, pentru imaginile comune de intrare care conțin patru imagini de comparat în imaginea scenei	102
Figura 5.1	Reprezentarea grafică a rezultatelor corelației – coeficientul de eficiență la detecție, CED – pentru setul de imagini din tabelul 3.11, cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA). Sunt date graficele dependenței coeficientului CED pentru fiecare domeniu de fază $dfPSLM$ (a, b, c, d, e, f.) în funcție de cele opt domenii de premodulare $dfPRE$.	112- 114
Figura 5.2	Setul de imagini martor cu zgomot uniform aditiv (5-50%) și referința, utilizat pentru studiul performanțelor corelatorului hibrid (FCHTC-preMFmA)	120
Figura 5.3	Imaginile de tip non-referință cu codul dat în figura 3.10, pentru studiul performanțelor corelatorului hibrid (FCHTC-preMFmA)	121
Figura 5.4	Exemplu de imagine comună pentru studiul performanțelor corelatorului hibrid (FCHTC-preMFmA) în prezența zgomotului aditiv (de 25% și respectiv de 30%) cu imaginea de tip non-referință cu codul F4 din figura 5.3	121
Figura 5.5	Reprezentarea grafică a valorilor coeficientului CED_{xy} în funcție de nivelul de zgomot uniform aditiv pentru imaginea comună de intrare de tipul celei din figura 5.4. S-au reprezentat cazurile ce iau în considerare combinațiile de parametri $dfPSLM$ cu setul I de parametri $dfPRE$ doar pentru imaginea cu codul F4 și imaginile martor cu zgomot aditiv între 5% și 100%. Linia roșie orizontală prezentă în unele grafice reprezintă valoarea de prag pentru coeficientul de eficiență la detecție ($CED_{prag} = 1,200$).	122- 127
Figura 5.6	Imaginile comune de intrare utilizate la evaluarea performanțelor de recunoaștere de forme la iluminarea laterală (cu codurile pentru fiecare componentă)	135
Figura 5.7	Rezultate ale procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru imaginea comună de intrare din figura 5.6 a și $dfPRE = [\pi/4; 2\pi]$, $dfPSLM = [0; \pi]$	135
Figura 5.8	Exemplu de reprezentare grafică a performanțelor (coeficientul CED_{xy}) procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru imaginea de intrare de tipul celei din figura 5.6 a.	136
Figura 5.9	Setul de imagini prezentate cu scopul de a ilustra transformarea de invarianță la rotație	144
Figura 5.10	Imagini comune de intrare ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA), pentru invarianța la rotație	147
Figura 5.11	Reprezentarea grafică a rezultatelor procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA), pentru invarianța la rotație	148
Figura 5.12	Reprezentarea grafică a coeficientului de eficiență la detecție, $icCED_{xy}$, în funcție de codul imaginii de tip non-referință, pentru procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus) cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA). Parametrii de intrare pentru procesul de corelație	149

	sunt : domeniul de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$ și domeniul de premodulare $dfPRE = [-\pi; \pi/2]$.	
Figura 5.13	Reprezentarea grafică a coeficientului de eficiență la detecție, CEd_{xy} , în funcție de unghiul de rotație pentru procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus) cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA). Linia roșie orizontală marchează pragul de validare al procesului de corelație cu parametrii de intrare: domeniul de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$ și domeniul de premodulare $dfPRE = [-\pi; \pi/2]$.	150
Figura 5.14	Reprezentarea grafică a coeficientului de eficiență la detecție intra-clasă, $icCED_{rx}$, în funcție de unghiul de rotație pentru procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus) cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA). Linia roșie orizontală marchează pragul de validare al procesului de corelație cu parametrii de intrare: domeniul de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$ și domeniul de premodulare $dfPRE = [-\pi; \pi/2]$.	150
Figura 5.15	Reprezentarea grafică a celor mai bune performanțe ale procesului de recunoaștere de forme realizat cu modelele de corelatoare cu transformată comună studiate. S-au considerat aceleași condiții (aceleași domenii de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$, și domenii de premodulare, $dfPRE = [-\pi; \pi]$ sau $[0; 2\pi]$, unde este cazul) pentru procesul de corelație.	152
Figura 5.16	Reprezentarea grafică a celor mai bune performanțe ale procesului de recunoaștere de forme realizat cu modelele de corelatoare hibride cu transformată comună analizate pentru robustețea la zgomotul aditiv.	155
Figura 5.17	Reprezentarea grafică a celor mai bune performanțe ale procesului de recunoaștere de forme generate cu modelele de corelatoare hibride cu transformată comună analizate pentru robustețea la zgomotul aditiv și comparativ cu robustețea la cu iluminarea laterală.	159
Figura 5.18	Reprezentarea grafică a coeficientului de eficiență la detecție, $icCED_{ry}$, în funcție de codul imaginii de tip non-referință, pentru procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus) cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA). Parametrii de intrare pentru procesul de corelație sunt : domeniul de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$ și domeniul de premodulare $dfPRE = [-\pi; \pi/2]$.	160
Figura 5.19	Reprezentarea grafică a coeficientului de eficiență la detecție intra-clasă, $icCED_{rx}$, în funcție de unghiul de rotație pentru procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus). Liniile orizontale marchează pragul de validare al procesului de corelație. Parametrii de intrare pentru procesul de corelație în domeniul fazei sunt : domeniul de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$ și domeniul de premodulare $dfPRE = [-\pi; \pi/2]$.	161
Figura 5.20	Reprezentarea grafică a coeficientului de eficiență la detecție, CEd_{xy} , în funcție de unghiul de rotație pentru procesul de recunoaștere de forme cu transformare de invarianță la rotație (polară cu filtrare trece-sus). Linia roșie orizontală marchează pragul de validare al procesului de corelație. Parametrii de intrare pentru procesul de corelație în domeniul fazei sunt : domeniul de fază, $dfPSLM = [0; \pi]$ și domeniul de premodulare $dfPRE = [-\pi; \pi/2]$.	161
Figura 6.1	Amprentele digitale care constituie clasa de referință.	167
Figura 6.2	Amprentele digitale care constituie imaginile de tip non-referință	167
Figura 6.3	Imaginile comune de intrare	168
Figura 6.4	Reprezentarea grafică a unei linii de corelație, în situația (S1)	169
Figura 6.5	Reprezentarea grafică a unei linii de corelație, în situația (S2)	170
Figura 6.6	Reprezentarea grafică a rezultatelor procesului de corelație în situația (S1), pentru cele trei modele de corelatoare hibride cu transformată comună studiate	171
Figura 6.7	Reprezentarea grafică a rezultatelor procesului de corelație în situația (S2), pentru cele trei modele de corelatoare hibride cu transformată comună studiate.	172
Figura 6.8	Imaginea digitizată a galeriilor larvelor de <i>Hylesinus fraxini</i> din care se va realiza imaginea de referință .	174
Figura 6.9	Referința generalizată singulară	175
Figura 6.10	Referința generalizată fuzionată	176
Figura 6.11	Imaginea digitizată a scenei compusă din imaginile a două tipuri de galerii larvare din genuri diferite: stânga – <i>Hylesinus fraxini</i> , dreapta – <i>Ips typographus</i>	178
Figura 6.12	Imaginea comună care va fi introdusă în corelator	178
Figura 6.13	Rezultatul procesului de corelație pentru imaginea comună din fig. 6.12, în care prin prezența	178

- maximului din partea stângă se confirmă existența imaginii de referință (fig. 12, partea superioară) în imaginea scenei și faptul că galeria larvară din stânga este puternic corelată, adică face parte din același gen cu cea de referință, cea din dreapta fiind mult diferită de cea de referință, din alt gen.
- Figura 6.14** Reprezentarea comparativă a rezultatelor procesului de recunoaștere de forme pentru referința generalizată singulară și fuzionată, în cazul galeriilor larvare, cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, (FCHTC-preMFmA). 181

Lista Tabelelor

Tabelul 3.1	Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorului optic cu transformată comună clasic (COTC-CL), pentru imaginea de intrare din fig. 3.2.	39
Tabelul 3.2	Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorului optic cu transformată comună cu filtru modulat în amplitudine (COTC-FmA), pentru imaginea de intrare din fig. 3.4.	44
Tabelul 3.3	Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorului optic cu transformată comună modificat cu filtru modulat în amplitudine (COTC-MFmA), pentru imaginea de intrare din fig. 3.4.	49
Tabelul 3.4	Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorului optic cu transformată comună clasic (COTC-CL), pentru imaginile comune de intrare din fig. 3.11.	59
Tabelul 3.5	Compararea performanțelor maxime ale corelatoarelor optice și hibride în domeniul amplitudinii cu transformată comună exprimate prin valoarea coeficientului de eficiență la detecție, <i>CE</i> _D , generate în aceleași condiții (parametrii de intrare).	59
Tabelul 4.1	Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorului optic în domeniul fazei cu transformată comună clasic (FCOTC-CL), pentru imaginea de intrare din fig. 4.2.	75
Tabelul 4.2	Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul optic în domeniul fazei cu transformată comună cu filtru modulat în amplitudine, (FCOTC-FmA), pentru imaginea de intrare din fig. 4.2.	78
Tabelul 4.3	Rezultatele numerice ale procesului de recunoaștere de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună modificat și cu filtru modulat în amplitudine, (FCHTC-MFmA), pentru imaginea de intrare din fig. 4.2.	81
Tabelul 4.4	Coeficientul de eficiență la detecție obținut prin simulare pe calculator pentru imaginile comune de intrare din fig. 4.6 – 4.9.	87
Tabelul 4.5	Performanțele corelatoarelor optice sau hibride cu transformată comună exprimate prin valoarea coeficientului de eficiență la detecție, <i>CE</i> _D .	93
Tabelul 4.6	Compararea performanțelor maxime ale corelatoarelor optice și hibride în domeniul fazei cu transformată comună exprimate prin valoarea coeficientului de eficiență la detecție, <i>CE</i> _D , generate în aceleași condiții (parametrii de intrare).	93
Tabelul 5.1	Setul de domenii de fază, <i>dfPLSM</i> , și de premodulare, <i>dfPRE</i> alese pentru studiul performanțelor de recunoaștere de forme cu corelatorul (FCHTC-preMFmA)	111
Tabelul 5.2	Rezultatele procesului de corelației – coeficientul de eficiență la detecție, <i>CE</i> _D – pentru setul de imagini din tabelul 3.11 și pentru domeniile de fază, <i>dfPLSM</i> , și de premodulare, <i>dfPRE</i> , din tabelul 5.1, cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună (FCHTC-preMFmA).	111
Tabelul 5.3	Clasificarea domeniilor <i>dfPRE</i> corespunzătoare fiecărui domeniu <i>dfPLSM</i> , pentru toate imaginile de intrare considerate. Domeniul <i>dfPRE</i> cu performanțele de detecție	116

	(discriminabilitate) cele mai bune este cel care se găsește pe primul loc în coloana ierarhizării acestui parametru corespunzător fiecărui domeniu <i>dfPSLM</i> .	
Tabelul 5.4	Clasificarea performanțelor corelatorului studiat pentru fiecare <i>dfPRE</i> , simultan pentru toate domeniile <i>dfPLSM</i> și pentru toate imaginile de intrare considerate. Domeniul <i>dfPRE</i> cu performanțele de detecție (discriminabilitate) cele mai bune este cel care se găsește pe primul loc în coloana ierarhizării.	117
Tabelul 5.5	Clasificarea performanțelor corelatorului studiat pentru fiecare imagine de intrare considerată, simultan pentru toate domeniile <i>dfPRE</i> și toate domeniile <i>dfPLSM</i> .	118
Tabelul 5.6	Setul de domenii de fază, <i>dfPLSM</i> , și de premodulare, <i>dfPRE</i> alese pentru studiul performanțelor de recunoaștere de forme cu corelatorul (FCHTC-preMFmA) la deformarea cu zgomot aditiv	119
Tabelul 5.7	Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu <i>dfPRE</i> (din <i>setul I</i>) al domeniilor <i>dfPSLM</i> – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.	129
Tabelul 5.8	Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu <i>dfPRE</i> (din <i>setul I</i>) peste toate domeniile <i>dfPSLM</i> – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.	130
Tabelul 5.9	Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu <i>dfPRE</i> (din <i>setul II</i>) peste toate domeniile <i>dfPSLM</i> – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.	131
Tabelul 5.10	Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu <i>dfPRE</i> (din <i>setul III</i>) peste toate domeniile <i>dfPSLM</i> – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.	132
Tabelul 5.11	Setul de imagini reprezentând fețe umane având iluminări laterale diferite (imagini realizate de <i>Vision and Modeling Group at the MIT Media Lab.</i> , 15.10.1989, la dimensiunea de 120x128 de pixeli în 256 de niveluri de intensitate de gri).	133
Tabelul 5.12	Setul de domenii de fază, <i>dfPLSM</i> , și de premodulare, <i>dfPRE</i> alese pentru studiul performanțelor de recunoaștere de forme cu corelatorul (FCHTC-preMFmA) la iluminarea laterală	134
Tabelul 5.13	Exemplu de rezultate numerice (coeficientul <i>CEdxy</i>) ale simulării pe calculator a procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru imaginea de intrare din figura 5.6 a și parametrii din primele două coloane.	136
Tabelul 5.14	Valorile maxime ale coeficientului minim de eficiență la detecție în procesul de recunoaștere de forme cu iluminare laterală, pentru corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA).	138
Tabelul 5.15	Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu <i>dfPRE</i> (<i>setul I</i>) peste toate domeniile <i>dfPSLM</i> . Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor <i>F1_45</i> și <i>F1_90</i> , și cu imagine non-referință iluminată frontal (de tip <i>Fy_00</i> , figura 5.6 a).	139
Tabelul 5.16	Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu <i>dfPRE</i> (<i>setul I</i>) peste toate domeniile <i>dfPSLM</i> . Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor <i>F1_45</i> și <i>F1_90</i> , și cu imagine non-referință iluminată lateral (de tip <i>Fy_45</i> , figura 5.6 b).	140
Tabelul 5.17	Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu <i>dfPRE</i> (<i>setul I</i>) peste toate domeniile <i>dfPSLM</i> . Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor <i>F1_45</i> și <i>F1_90</i> , și cu imagine non-referință iluminată lateral (de tip <i>Fy_90</i> , figura 5.6 c).	140
Tabelul 5.18	Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu <i>dfPRE</i> (<i>setul II</i>) peste toate domeniile <i>dfPSLM</i> . Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor <i>F1_45</i> și <i>F1_90</i> , și cu imagine non-referință iluminată frontal (de tip <i>Fy_00</i> , figura 5.6 a).	141

Tabelul 5.19	Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (<u>setul II</u>) peste toate domeniile $dfPSLM$. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor FI_{45} și FI_{90} , și cu imagine non-referință iluminată lateral (de tip Fy_{45} , figura 5.6 b).	141
Tabelul 5.20	Ierarhizarea performanțelor procesului de corelație cu corelatorul hibrid în domeniul fazei (FCHTC-preMFmA) pentru fiecare domeniu $dfPRE$ (<u>setul II</u>) peste toate domeniile $dfPSLM$. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru imaginile martor FI_{45} și FI_{90} , și cu imagine non-referință iluminată lateral (de tip Fy_{90} , figura 5.6 c).	142
Tabelul 5.21	Compararea performanțelor maxime ale corelatoarelor hibride cu transformată comună în domeniul amplitudinii și fazei exprimate prin valoarea coeficientului de eficiență la detecție, CED , generate în aceleași condiții (parametrii de intrare).	152
Tabelul 5.22	Performanțele la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună, modificat cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA) imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.	154
Tabelul 5.23	Ierarhizarea performanțelor la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-MFmA), pentru domeniile de fază, $dfPSLM$ – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.	154
Tabelul 5.24	Combi-națiile dintre domeniile de premodulare, $dfPRE$, din <u>setul I</u> și domeniile de fază, $dfPSLM$, care produc performanțele cele mai bune la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA) – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.	154
Tabelul 5.25	Combi-națiile dintre domeniile de premodulare, $dfPRE$, din <u>setul II</u> și domeniile de fază, $dfPSLM$, care produc performanțele cele mai bune la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA) – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.	155
Tabelul 5.26	Combi-națiile dintre domeniile de premodulare, $dfPRE$, din <u>setul III</u> și domeniile de fază, $dfPSLM$, care produc performanțele cele mai bune la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA) – imaginile martor sunt cu zgomot aditiv uniform de la 5 - 50%.	155
Tabelul 5.27	Performanțele la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul amplitudinii cu transformată comună, modificat cu filtru modulată în amplitudine (CHTC-MFmA) – s-au considerat simultan rezultatele pentru toate tipurile de iluminare prezente atât în imaginea martor (FI_{00} , FI_{45} , FI_{90}) cât și în imaginea de tip non-referință (Fy_{00} , Fy_{45} , Fy_{90}) și pentru orice domeniu de fază ales, $dfPSLM$.	157
Tabelul 5.28	Ierarhizarea performanțelor de recunoaștere de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-MFmA), pentru domeniile de fază, $dfPSLM$. Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru toate tipurile de iluminare prezente atât în imaginea martor (FI_{00} , FI_{45} , FI_{90}) cât și în imaginea de tip non-referință (Fy_{00} , Fy_{45} , Fy_{90}) și pentru orice domeniu de fază ales, $dfPSLM$.	157
Tabelul 5.29	Combi-națiile dintre domeniile de premodulare, $dfPRE$, din <u>setul I</u> și domeniile de fază, $dfPSLM$, care produc performanțele cele mai bune la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA). Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru toate tipurile de iluminare prezente atât în imaginea martor (FI_{00} , FI_{45} , FI_{90}) cât și în imaginea de tip non-referință (Fy_{00} , Fy_{45} , Fy_{90}) și pentru orice domeniu de fază ales, $dfPSLM$.	157
Tabelul 5.30	Combi-națiile dintre domeniile de premodulare, $dfPRE$, din <u>setul II</u> și domeniile de fază, $dfPSLM$, care produc performanțele cele mai bune la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulată în amplitudine (FCHTC-preMFmA). Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru toate tipurile de iluminare prezente atât în imaginea martor (FI_{00} , FI_{45} , FI_{90}) cât și în imaginea de tip non-referință (Fy_{00} , Fy_{45} , Fy_{90}) și pentru orice domeniu de fază ales, $dfPSLM$.	158

dfPSLM , care produc performanțele cele mai bune la recunoașterea de forme cu corelatorul hibrid în domeniul fazei cu transformată comună, cu intrarea preprocesată, modificat cu filtru modulat în amplitudine (FCHTC-preMFmA). Pentru ierarhizare s-au considerat simultan rezultatele pentru toate tipurile de iluminare prezente atât în imaginea martor (*F1_00*, *F1_45*, *F1_90*) cât și în imaginea de tip non-referință (*Fy_00*, *Fy_45*, *Fy_90*) și pentru orice domeniu de fază ales, *dfPSLM* .

Tabelul 6.1	Rezultatele numerice ale procesului de corelație în situația (S1), pentru cele trei modele de corelatoare hibride cu transformată comună studiate.	170
Tabelul 6.2	Rezultatele numerice ale procesului de corelație în situația (S2), pentru cele trei modele de corelatoare hibride cu transformată comună studiate.	172
Tabelul 6.3	Rezultatele procesului de recunoaștere de forme cu referința generalizată singulară din figura 6.9 b.	179
Tabelul 6.4	Rezultatele procesului de recunoaștere de forme cu referința generalizată fuzionată din figura 6.10 h.	180