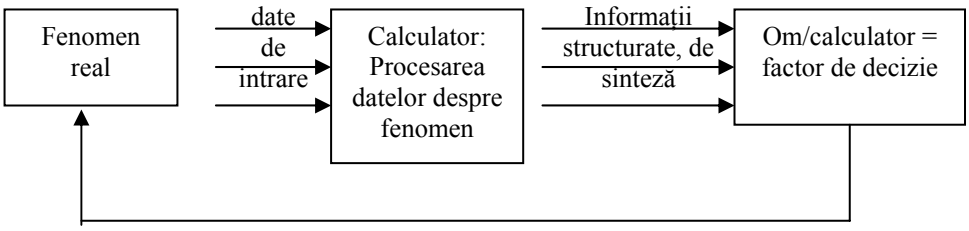
Modelare şi modele matematice în recunoaşterea obiectelor şi clasificarea automată a imaginilor

Ioan Ispas,
Catedra de Matematică-Informatică,
Universitatea Petru Maior, Târgu Mureş,
e-mail: john@upm.ro

Abstract: This paper summarize and classify the most important approaches, methods and techniques used in mathematical modeling and algorithms design for solving the *Image Recognition and Classification Problem.* The classification is done with respect to the fundamental mathematical modeling process of this difficult but challenging problem.

Keywords: Pattern recognition, Image classification, Image retrieval approaches, Mathematical modeling.

Se poate spune că schema următoare conţine modul ideal în care oamenii îşi propun să folosească calculatorul. Cînd omul este pus în situaţia obositoare de a lua în mod repetat aceleaşi decizii "de rutină", ideal este ca el să fie înlocuit de un calculator, cu softul său adecvat.



Buclă inversă (de control a fenomenului real)

În domeniul prelucrării digitale a imaginilor (DIP), în care există multe operaţii "de uzură" ce nu implică un grad înalt de răspundere, această înlocuire este unul dintre cele mai importante obiective şi se studiază mai ales atunci cînd se vorbeşte despre *Problema recunoaşterii obiectelor şi clasificării automate a imaginilor (pattern recognition and classification)*. Prin această sintagmă

BDD-A23871 © 2005 Editura Universităţii „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

generală se înțelege capacitatea calculatorului, prin softul său specializat, de a determina conținutul unei imagini imitînd într-o cît mai bună măsură capacitatea umană de "citire" a imaginilor în vederea luării unor decizii ulterioare.

Prin *clasificarea automată a imaginilor* se înțelege de fapt o categorie de tehnici, metode şi algoritmi de recunoaştere a obiectelor şi formelor în imagini ce permit clasificarea imaginilor pe baza obiectelor recunoscute.

Câteva domenii care necesită aplicații DIP de clasificare automată a imaginilor pe baza recunoaşterii obiectelor componente sunt:

Astronomie - pentru clasificarea automată a imaginilor preluate de la diferitele telescoape în benzi de frecvențe extinse;

Fizica pământului - pentru clasificarea automată (de multe ori în timp real) a imaginilor preluate de la sateliții geostaționari în vederea prognozei meteo, a stării atmosferei, a controlului creşterii vegetației (culturilor) şi a comportamentului vulcanilor, etc.;

Fizica atomica sau cuantică- pentru clasificarea automată a imaginilor preluate în experimente cu particule subatomice;

Microelectronică - pentru clasificarea automată şi detectarea calității circuitelor VLSI pe bază de imagini microscopice;

Automatică - pentru clasificarea automată şi controlul automat al calității diferitelor produse, în diverse domenii economice, ce trec pe bandă rulantă prin fața unui controlor automat al calității (aici este inclus şi domeniul alimentar);

Televiziune - pentru asigurarea controlului şi securității pe bază de camere video de urmărire continuă prin detectarea şi recunoaşterea în timp real a situațiilor (eventual a persoanelor) frauduloase (aici este inclus controlul circulației prin camere video şi radar, controlul bagajelor pe aeroporturi, urmărirea persoanelor în incinta băncilor, etc.);

Armată - pentru recunoaşterea şi detectarea țintelor şi pentru dirijarea în mod direct (orientare) a rachetelor sau avioanelor de luptă;

Inspecția non-chirurgicală - mai ales pentru detectarea şi marcarea automată (un fel de diagnoză asistată) a zonelor sau organelor suspecte, din imaginile preluate *in vivo* prin microscopie electronică, tomografie (raze gamma), fotografierea cu raze X şi prin rezonanță magnetică, radiologie;

BDD-A23871 © 2005 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

Analiza compoziției chimice - prin clasificarea şi prelucrarea automată a informației achiziționate pe criterii cromatice, spectrale, etc.;

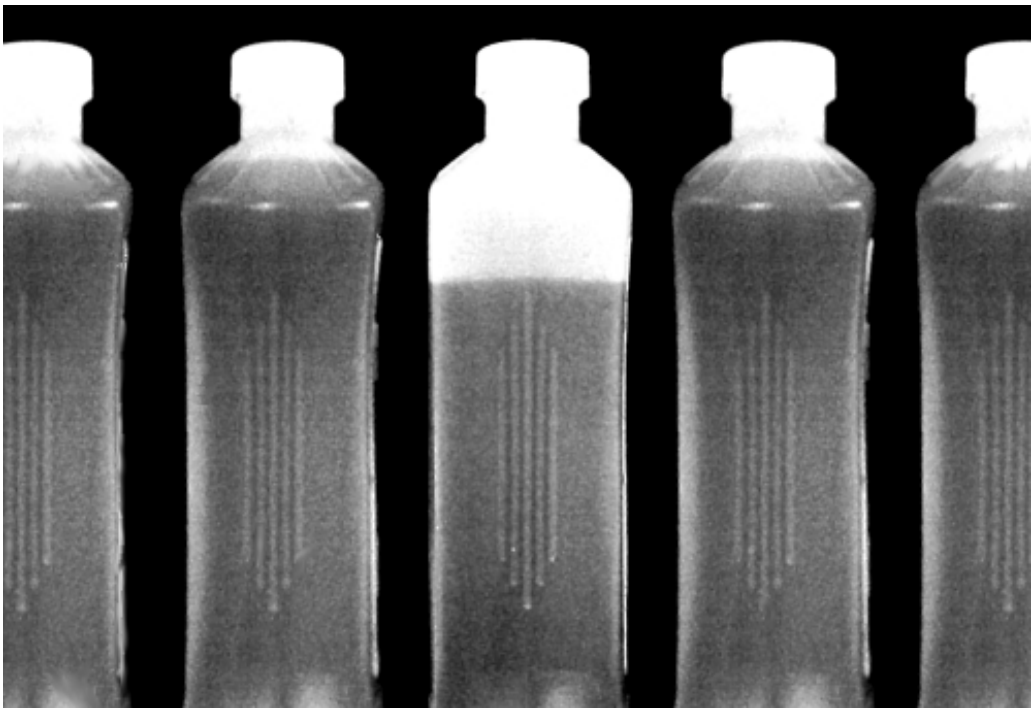
Microscopie - pentru recunoaşterea şi clasificarea automată a structurilor moleculare şi atomice ale substanțelor studiate;

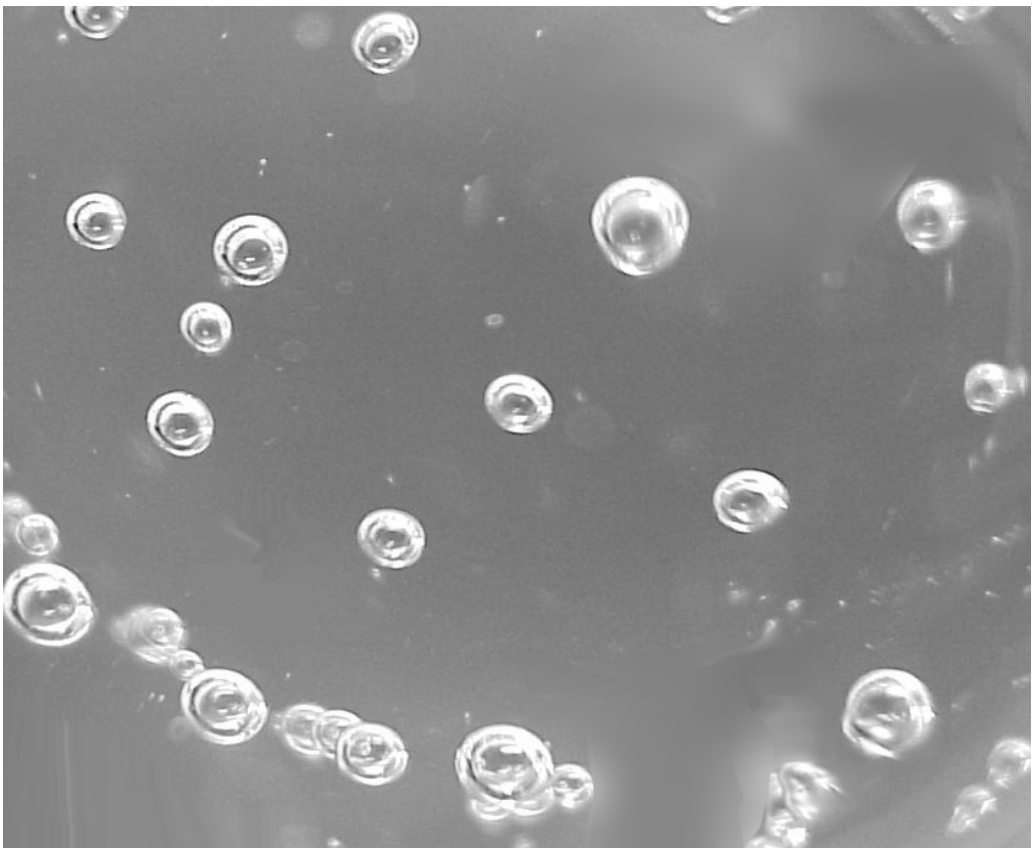
Data mining – clasificare şi regăsirea informațiilor de diverse tipuri (multimedia) în volume mari de date structurate, mai mult sau mai puțin, ca baze de date, depozite de date sau bănci de date;

Document image analysis – presupune clasificare, căutarea, regăsirea cu sau fără conversia totală în text a unor documente păstrate sub formă de imagini (copii fax, scanner, etc.);

Multimedia database querying and content retrieval – se referă mai ales la regăsirea unor secvențe video după criterii de căutare specifice inclusiv, să zicem, după chipul unui personaj;

BDD-A23871 © 2005 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

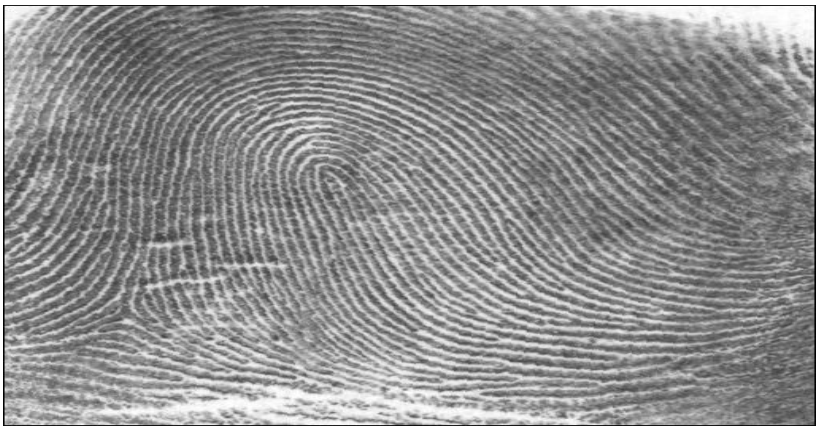


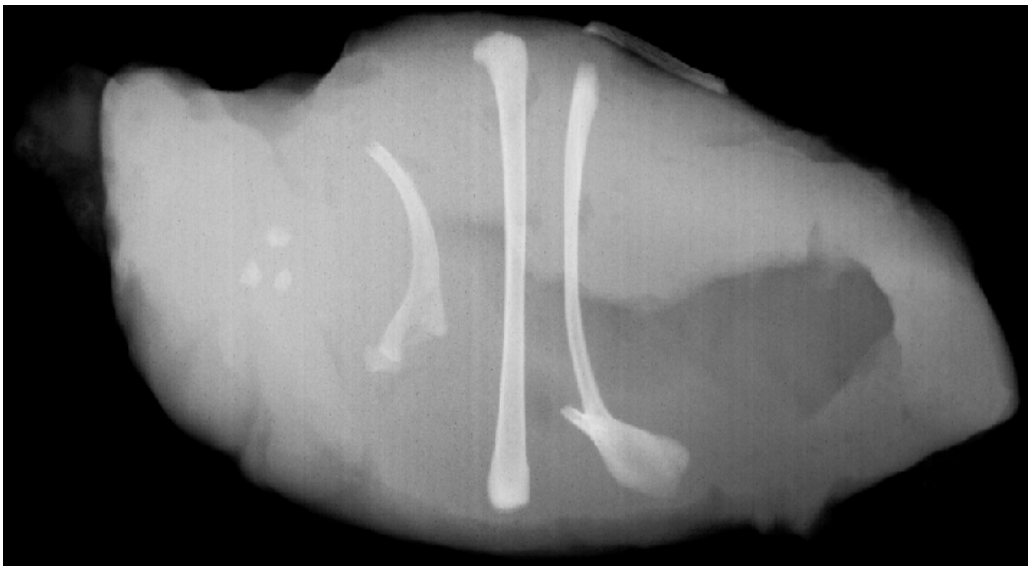


Iată două exemple ce ilustrează folosirea metodelor automate de recunoaştere, detecție şi control a calității produselor farmaceutice: în primul caz, camera video detectează trecerea prin fața ei (pe bandă rulantă) a unor recipienți necorespunzători, iar în al doilea caz, prin inspecție microscopică se detectează prezența unui număr prea mare de bule de aer în compoziția unei substanțe (prin recunoaştere şi numărare automată).

BDD-A23871 © 2005 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)







Iată alte trei exemple de utilizare practică a metodelor de recunoaştere şi clasificare a imaginilor: sus, o imagine preluată de o cameră radar a poliției care este prelucrată şi se extrage în mod automat numărul de identificare a maşinii; la mijloc, o imagine folosită într-o aplicație de recunoaştere a poliției cu ajutorul unei baze de amprente digitale; jos, o imagine preluată cu raze X de o cameră de control a calității produselor alimentare şi oferită unei aplicații care detectează prezența ascunsă a oaselor în pachetele de "carne fără oase"

BDD-A23871 © 2005 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

Recunoaşterea formelor. Noţiuni fundamentale.

Literatura despre *prelucrarea digitală a imaginilor* (*DIP*) în limba engleză foloseşte diferite exprimări, ce se acoperă parţial reciproc, pentru a desemna acest domeniu de interes. Din perspective diferite, exprimările întâlnite curent sunt: *object recognition, pattern recognition, pattern / template matching, image recognition, pattern / image classification* [GOW], [JDM], [BKKP]. În limba română acestor sintagme le corespund următoarele traduceri sau echivalări: *recunoaşterea formelor, recunoaşterea obiectelor, recunoaşterea şi clasificare imaginilor*, *analiză de imagini* [VLA], unde noţiunea de *pattern* (*şablon, model, formă primară*) este tradusă mai ales prin cuvîntul cu înţeles general - *formă*.

Din punct de vedere al creşterii complexităţii metodelor şi operaţiilor implicate există următoarea incluziune logică evidentă: *forme* $\subset$ *obiecte* $\subset$ *imagini.* Dacă vrem să facem distincţie între termenii de mai sus, ordinea firească de abordare teoretică a lor ar trebui să fie (pe nivele de complexitate):

1. *recunoaşterea formelor,*
2. *recunoaşterea obiectelor,*
3. *recunoaşterea / clasificarea imaginilor.*

În modelarea matematică a problemei recunoaşterii formelor există şi abordări teoretice care eludează această ordine logică. De exemplu, abordarea cu *metode matematice statistice a recunoaşterii,* face abstracţie de incluziunea structurală a formelor în obiecte (cu forme complexe) şi a obiectelor în imagini (conţinînd mai multe obiecte). Într-o astfel de modelare întreg procesul se reduce la un unic nivel al recunoaşterii, ce conţine la modul sintetic cele trei nivele de mai sus. Un exemplu semnificativ este *metoda de recunoaşterea statistică a imaginilor /obiectelor pe baza conţinutului lor cromatic*.

Înainte de a trece la prezentarea diferitelor modele teoretice şi practice de soluţionare a problemei recunoaşterii vom prezenta mai întâi o scurtă analiză a acestei probleme din perspectiva sa fundamentală: *psiho-fiziologia umană*.

Din această perspectivă, problema recunoaşterii formelor şi imaginilor nu este o problemă de sine stătătoare ci este subordonată unei alte probleme mai generale: *problema luării unor decizii pe baza procesului psiho-mental de*

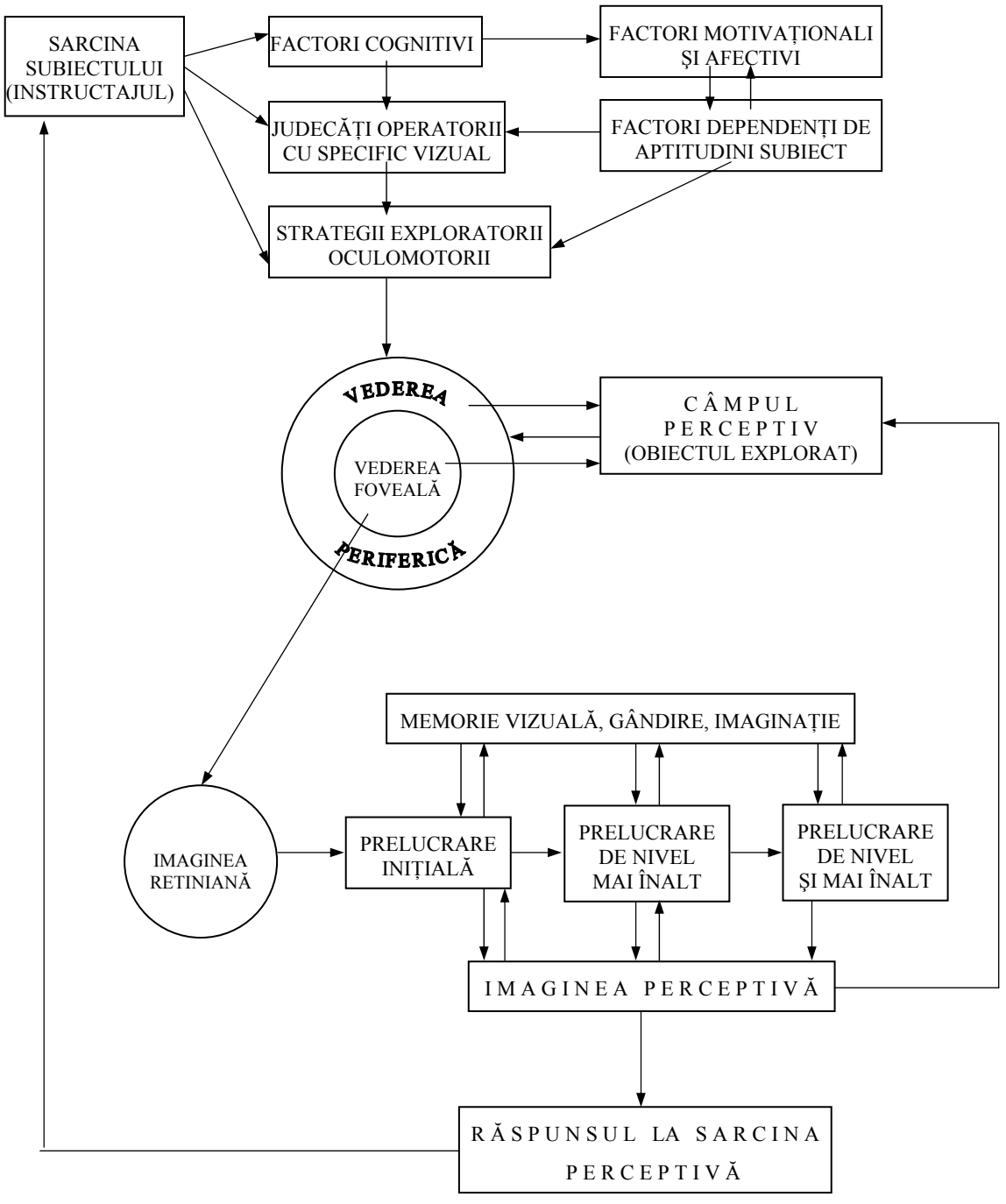
BDD-A23871 © 2005 Editura Universităţii „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

percepţie vizuală. Aici trebuie deasemenea incluse fenomene umane complexe ca *orientarea spaţială, explorarea vizuală, etc.,* în fiecare din aceste situaţii pornindu-se de la percepţii vizuale primare (imagini). Această problemă generală şi foarte complexă conţine într-o formă particulară cel mai important mecanism ce stă la baza funcţionării tuturor sistemelor vii: *mecanismul de feed-back.* Domeniul *Inteligenţei artificiale* (*AI*) este cel care modelează şi studiază aceste mecanisme umane de explorare, orientare şi luare de decizii. El se bazează într-o mare măsură pe o altă importantă trăsătură a fiinţelor înzestrate cu capacitate de orientare: *învăţarea*. În paginile ce urmează nu trebuie să se facă confuzie între abordarea problemei recunoaşterii formelor şi imaginilor din perspectiva DIP, cu abordarea aceleaşi probleme din perspectiva AI, abordare care nu este obiectul acestui studiu.

Analiza şi modelarea problemei recunoaşterii. Percepţia vizuală - noţiuni fundamentale.

Din punct de vedere al percepţiei umane, problema recunoaşterii este separată de problema captării senzaţiilor primare (input-ul). Imitarea capacităţilor umane de percepţie vizuală (oculară), perfecţionarea şi extinderea acestora este obiectul de studiu colaborat al medicinei, al ingineriei electronice şi al fizicii optice. Pentru noi este importantă doar abordarea psihologică-mentală a problemei recunoaşterii, în special pentru descoperirea şi modelarea mecanismelor cerebrale de percepţie, explorare şi orientare vizuală. Din această perspectivă studiile de specialitate [VPRE, pag.40-56] constată că problema explorării vizuale la om are grad foarte mare de complexitate. Studiul acestei probleme se află încă în etapa de punere a fundamentelor şi este plină de necunoscute. Numărul factorilor (parametrilor) care au fost descoperiţi ca fiind implicaţi este atît de mare încît nu se poate vorbi încă de o modelare precisă a acestui fenomen, aşa cum putem sesiza din schema de sinteză următoare [VPRE, pag. 53].

BDD-A23871 © 2005 Editura Universităţii „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)



BDD-A23871 © 2005 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

O altă concluzie care este extrasă din aceste studii este faptul că percepția şi explorarea vizuală umană este o problemă avînd o complexitate atît "pe verticală" cît şi "pe orizontală", fapt ce complică mult lucrurile din perspectiva modelării ei cu ajutorul calculatorului. Astfel, se vorbeşte de mecanisme de percepție vizuală structurate şi îmbunătățite în timp, pe grupuri de vîrste: de la 0 la 2 ani, între 2 şi 7 ani, între 7 şi 12 ani şi perioada peste 12 ani, aceasta constituind o extindere "pe verticală" a problemei şi cuprinzînd numeroase mecanisme (de exemplu *învățarea*) care sînt modelate mai ales în domeniul inteligenței artificiale. Dar se constată la aceleaşi grupe de vîrstă, deci o extindere "pe orizontală", existența unor *strategii tipologice* de explorare vizuală în funcție de trăsăturile psihologice ale diferiților subiecți umani (şi nu în funcție de starea de sănătate psiho-fiziologică a lor). Prin urmărirea mişcărilor şi traseelor de explorare oculară a imaginilor-sarcină s-a putut constata chiar mai mult decît atît: există *strategii conjuncturale* (*orientate pe sarcină)* diferite de explorare vizuală la acelaşi subiect uman, ce depind atît de gradul de complexitate /importanța sarcinii de explorare vizuală asumate cît şi de aptitudinile sau starea generală a subiectului.

În concluzie, din perspectivă psihologică-cognitivă, problema recunoaşterii nu poate fi separată de cele două probleme cu care ea se întrepătrunde strîns:

1. *problema extragerii semnificaților* dintr-o formă sau imagine;
2. *problema interpretării conținutului* imaginilor pe baza tipologiei şi formației cognitiv-psihologică a subiecților umani (tipologii ce diferă la vîrste diferite dar şi la aceeaşi vîrstă).

Prin studiul sistematic al capacităților de explorare vizuală a copiilor foarte mici s-a putut constata existența următoarele trăsături fundamentale care sînt încă un deziderat major pentru sistemele automate de recunoaştere, urmărire şi orientare spațială:

a) *Fixarea şi urmărirea.* În decursul primelor luni de viață copilul ajunge la o deplină capacitate de fixare şi urmărire în cîmpul vizual (mai exact, e vorba de zona foveală) a subiectului (țintei) recunoscut şi dorit.
b) *Discriminarea figură – fond.* La numai 15 zile de la naştere copilul căruia i se arată o imagine conținînd un triunghi negru pe un fond alb sau o imagine bicoloră îşi îndreaptă cu precizie privirea spre contorul triunghiului (mai

BDD-A23871 © 2005 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

ales spre colţuri) respectiv spre zona de graniță dintre cele două zone bicolore ceea ce permite să se tragă concluzia că procesul de discriminare dintre fond şi figură (simplă) se însuşeşte foarte repede.

c) *Percepția formelor, modelelor şi obiectelor.* După numai 9 luni de viață copilul este capabil să recunoască şi să deosebească obiectele noi de cele vechi, sau imagini conținînd modele noi de imagini cu modele (texturi) vechi. El este capabil să recunoască şi să diferențieze cu precizie obiectele după cele trei atribute de bază: *culoare, mărime* şi *formă.*

d) *Diferențierile perceptive şi preferințele.* Încă de la vîrsta de două săptămîni copilul începe să aibă preferințe pentru unele forme şi culori, preferințe care evoluează şi se schimbă cu vîrsta. Astfel, pînă la vîrsta de două luni toți copii preferă să examineze o imagine în dungi față de una cu cercuri, situație care se inversează după trecerea celor două luni. Copii de 7 săptămîni nu pot încă reține nici una din atributele unui obiect dar îi țin minte prezența; după 11 săptămîni copii rețin un atribut al obiectului – forma, iar după 14 săptămîni ei rețin deja două atribute – forma şi culoarea.

e) *Organizarea perceptivă.* Prin urmărirea şi înregistrarea mişcărilor oculare (mai exact, a *sacadelor* oculare) s-a putut trage concluzia că, încă din primele zile după naştere, în timpul inspecțiilor oculare sînt prezente la noi născuți mecanisme de organizare şi de structurare a procesului de percepție vizuală. Acest fapt are o importanță majoră pentru obținerea pînă la vîrsta de 4-5 luni a coordonării ochi-mînă şi a capacității de apucare şi manipulare a obiectelor, în funcție de forma şi de mărimea lor.

f) *Constanțele perceptive.* Este evident că, în timp ce un obiect îşi păstrează proprietățile tactile-kinestezice oriunde s-ar deplasa în cîmpul vizual al copilului, totuşi imaginea acestuia (deşi obiectul este neschimbat) îşi modifică atît forma cît şi mărimea în funcție de poziția pe care o ocupă în spațiu. S-a constatat că, pînă la împlinirea vîrstei de un an, copilul îşi dezvoltă complet capacitatea de a recunoaşte şi identifica obiectele indiferent de proiecția imaginii lor pe retină, el reuşind să stabilească o legătură cauzală între obiect şi diferitele forme ale sale, aşa cum sînt ele percepute din perspective vizuale diferite – din unghiuri şi de la distanțe diferite.

BDD-A23871 © 2005 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

Din scurtele extrase de mai sus [VPRE, pag.40-45] se poate conchide că, pentru cei ce se ocupă cu modelarea problemei recunoaşterii formelor şi imaginilor, este încă un țel deosebit de înalt acela de a imita capacitățile de explorare vizuală măcar ale unui copil de doi ani.

Totuşi, din constatările enunțate putem să extragem nişte idei prețioase pentru proiectarea algoritmilor de recunoaştere. Există şase trăsături fundamentale ale procesului de explorare vizuală, aşa cum apare şi se dezvoltă el la ființele umane:

1. *Fixarea şi urmărirea figurii*
2. *Discriminarea figură – fond*
1. *Percepția formelor, modelelor şi obiectelor*
2. *Diferențierile perceptive / preferințele*
3. *Organizarea perceptivă*
4. *Constanțele perceptive*

Prin trecerea în revistă a numeroaselor articole de specialitate se poate afirma că doar primele trei trăsături sunt luate în calcul la modelarea şi proiectarea sistemele de recunoaştere automată a formelor şi imaginilor. Este aceasta o dovadă în plus a complexității şi dificultății în cazul modelării explorării vizuale.

Se poate constata că *fixarea şi urmărirea* este imitată şi realizată deja în cazul sistemelor de supraveghere automată, în cazul sistemelor de dirijare a rachetelor către ținte, etc. ce utilizează algoritmi foarte performanți (eficienți) de analiză în timp real a cadrelor video ce se succed. În această situație, zona centrală a imaginilor captate, ce este analizată foarte rapid, corespunde cu zona foveală de pe retina ochiului observatorului uman iar efortul algoritmului constă în a menține "'ținta" aflată în mişcare în centrul imaginii, prin comenzi adecvate asupra orientării obiectivului camerei video. Un amănunt mai puțin cunoscut şi oarecum trecut cu vederea, dar care constituie unul din eforturile majore ale algoritmilor de fixare şi urmărire, este faptul că "ținta" trebuie mai întîi localizată şi adusă în mijlocul imaginii pentru a putea fi apoi fixată şi urmărită continuu, exact ca în cazul fixării privirii şi implicit a imaginii obiectului în zona foveală. Ori acest lucru nu este deloc uşor în cazul unei ținte aflată în continuă mişcare într-un spațiu tridimensional! De aceea, de multe ori este necesar efortul conjugat al mai multor camere de luat imagini (sau sisteme

BDD-A23871 © 2005 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

radar) pentru a se putea realiza rapid localizarea spațială 3-D a țintei, folosind de exemplu, o metodă topografică de *triangulație.*

Discriminarea figură – fond se realizează prin algoritmii de detecție automată a muchiilor şi contururilor, algoritmi ce se bazează pe determinarea zonelor de discontinuitate din imagini.

Percepția formelor, modelelor şi obiectelor este trăsătura care ridică cele mai serioase probleme proiectanților de algoritmi de recunoaştere şi constituie efortul principal al procesului de modelare, după cum se va putea vedea în continuare.

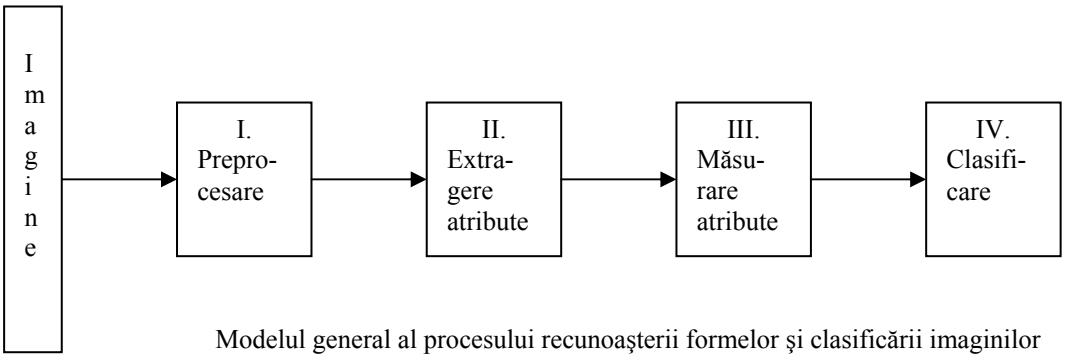
Diferențierile perceptive şi preferințele, Organizarea perceptivă şi *Constanțele perceptive* sînt trăsături ale mecanismelor de percepție vizuală care fac subiectul de studiu al *inteligenței artificiale* şi presupun modelarea şi simularea unor mecanisme extrem de complexe ca *extragerea semnificanților* şi *recunoaşterea prin învățare*.

Recunoaşterea formelor şi clasificarea imaginilor – modelare teoretică

Aşa cum am spus deja, pentru a se face distincție clară între problema recunoaşterii din perspectiva prelucrării digitale a imaginilor şi aceeaşi problemă din perspectiva inteligenței artificiale şi roboticii, terminologia de specialitate folosită în limba engleză este *pattern recognition* [GOW, pag. 693] şi mai puțin *object recognition.* Chiar dacă vom folosi expresii ca *recunoaşterea formelor, recunoaşterea obiectelor* sau *clasificarea imaginilor*, în continuare ne vom referi doar la ceea ce literatura engleză de specialitate numeşte *pattern recognition.*

Recunoaşterea formelor şi/sau clasificarea imaginilor este un proces ce are la bază un model în patru paşi sau etape. Chiar dacă în sistemele automate de recunoaştere şi clasificare etapele nu apar întotdeauna ca fiind separate, ele vom fi în continuare prezentate distinct. Se urmărește astfel scoaterea în evidență a trăsăturile esențiale ale fiecărui pas /etapă, aşa cum se poate observa în schema următoare:

BDD-A23871 © 2005 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)



Modelul general al procesului recunoaşterii formelor şi clasificării imaginilor

I. **Preprocesarea imaginii**. De obicei această etapă este privită împreună cu etapa a doua dar importanța capitală pe care noi dorim să o acordăm etapei de extragere a atributelor ne-a făcut să le tratăm separat. Prin această etapă de preprocesare se înțelege de fapt aplicarea, unor algoritmi DIP specializați de îmbunătățire a calității imaginii. Unii dintre cei mai uzitați algoritmi de preprocesare, prezentați în **[ISP 1]**, sînt:

- algoritmi de amplificare a contrastului;
- algoritmi de eliminarea paraziților şi a "zgomotului" (*noise reduction*);
- algoritmi de transformare Fourier a imaginii, folosiți mai ales pentru analizarea texturii imaginii;

Rezultatul final al acestei etape poate fi: aceeaşi imagine dar îmbunătățită, avînd unele detalii puse în evidență; aceeaşi imagine dar într-o altă descriere ce facilitează recunoaşterea obiectelor componente; doar părți componente ale imaginii în diverse descrieri şi formalizări.

II. **Extragerea atributelor sau descriptorilor de imagine (*feature extraction*).** Este etapa cheie, este cea care dă măsura performanțelor şi a profesionalismului aplicației de recunoaştere. Ea constă în aplicarea, împreună sau separat (după necesități), a unor algoritmi DIP specializați care urmează să fie prezentați în această lucrare, cum ar fi:

- îngroşarea, extragerea şi/sau detectarea liniilor, muchiilor sau contururilor;
- concatenarea segmentelor şi conectarea contururilor;

BDD-A23871 © 2005 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

- segmentarea imaginii în zone de interes;
- introducerea unor reprezentări sau descrieri ajutătoare a contururilor, zonelor sau obiectelor cu contururi delimitate prin metodele anterioare;

Alegerea unor atribute sau caracteristici cît mai potrivite este cheia succesului algoritmilor de recunoaştere. Deşi, în general vorbind, obiectele sînt înzestrate cu doar trei atribute principale *mărimea, culoarea* şi *forma*, totuşi în practică determinarea cu exactitate şi completă a celor trei caracteristici fundamentale este extrem de dificilă sau chiar imposibilă şi presupune proiectarea şi implementarea unor metode de aproximare a lor. Iar numărul posibilităților de aproximare a mărimii şi formei combinate între ele şi înmulțite cu numărul imens de nuanțe de culori (ce sînt conținute de exemplu în textura obiectelor) conduce la un număr foarte mare de alegeri posibile. Secretul reuşitei în problema recunoaşterii constă tocmai în reducerea acestui număr uriaş de posibilități de a alege dintre mărimile, formele şi culorile "sugerate" de imagine. Rezultatul final al acestei etape este un vector de *n* atribute extrase (v_1, v_2, …, v_n) nu neapărat numerice.

III. **Măsurarea atributelor sau descriptorilor (*feature/pattern measurement*).** În practică această etapă nu este separată de cea anterioară întrucît, odată alegerea atributelor fiind făcută, se presupune ca pentru ele a fost aleasă deja o metodă de măsurare, evaluare şi comparare (discriminare). Totuşi, cărțile de specialitate scot în evidență această etapă şi, deseori, doar ea este cea care e prezentată în capitolul *Object recognition and pattern clasification*. Un motiv pentru care această etapă este atît de bine tratată teoretic este faptul că există un aparat matematic bine pus la punct – *Teoria măsurii* – cu ajutorul căruia se pot introduce diferite metrici *n*-dimensionale sau metode discriminative eficiente. În practică se constată că folosirea unei singure măsuri (a unei singure metrici) nu este o metodă suficient de discriminativă (nu conduce la separarea precisă în clase distincte) şi de aceea majoritatea aplicațiilor folosesc mai multe metrici simultan (aşa cum, parafrazînd, şi omul foloseşte doi ochi în loc de unul). Atragem

BDD-A23871 © 2005 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

atenția că aceasta este etapa "vulnerabilă" a întregului proces şi poate conduce în final la confuzii, rezultate eronate sau chiar mistificări. Exprimarea populară cu tîlc "*Rezultatul măsurătorii depinde de ce măsură ai şi de cine măsoară*" se potriveşte şi în această situație. Rezultatul final al acestei etape este de obicei o valoare numerică uni- sau multi-dimensională (un vector) privită ca fiind "distanța" vectorului de atribute față de "bornele" de clasificare.

IV. **Clasificarea imaginii (*pattern classification*).** Este etapa finală în care se colaborează rezultatele măsurătorilor multiple anterioare (realizate cu mai multe metrici diferite) şi se stabileşte apartenența formei, obiectului sau imaginii descris prin vectorul de atribute la o clasă. Pentru creşterea vitezei de clasificare apartenența la o clasă se stabileşte cu ajutorul unor metode ce sînt specifice strategiei de recunoaştere folosite. Ele poartă denumirea de *criterii matematice sau funcții de apartenență,* ce se bazează pe poziția spațială a vectorului de semnificanți față de granițele (liniile, planele sau hiperplanele) de delimitare între clase, sau *reguli structurale (sintactice) de decizie (acceptare)* a apartenenței la o clasă. Aplicarea practică a acestor metode de clasificare nu este întotdeauna o problemă simplă de calcul ci, de cele mai multe ori, necesită un aparat teoretic sofisticat şi nişte algoritmi pe măsură. Rezultatul final al etapei de clasificare este numărul *C* al clasei de apartenență sau direct denumirea ei, de unde se obține implicit şi numele obiectului ce se dorea a fi recunoscut.

Literatura de specialitate grupează modelele şi metodele generale de recunoaştere şi clasificare în patru mari categorii sau strategii, denumite *abordări* (*pattern recognition approaches*) [JDM, pag.6] :

A. Recunoaşterea prin potrivirea cea mai bună (*template matching approach*);
B. Recunoaşterea prin metode statistice (*statistical approach*);
C. Recunoaşterea cu ajutorul rețelelor neuronale (*neural networks approach*);
D. Recunoaşterea sintactică sau structurală (*syntactic or structural approach*);

BDD-A23871 © 2005 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

Există şi o altă clasificare în doar două mari categorii [GOW, pag.XIV]:

A. Recunoaşterea bazată pe metode teoretice de decizie (*decision-theoretic methods*);

B. Recunoaşterea sintactică sau structurală (*syntactic or structural methods*);

În cea de a doua clasificare, metodele A, B, C ale clasificării anterioare sînt cuprinse toate într-o singură categorie. Diferența între cele două clasificări constă în faptul că cele trei metode ce au fost grupate împreună, deşi diferite între ele, au comună totuşi la etapa clasificării aceeaşi abordare funcțională. Categoria D din prima clasificare este aceeaşi cu categoria B de metode din cea de-a doua clasificare şi conține în etapa finală a procesului de recunoaştere (etapa clasificării) aceeaşi metodă de discriminare bazată pe algoritmi de apartenență, folosind *arbori sintactici de acceptare*. Această metodă de recunoaştere a apartenenței la o clasă este o metodă structurală ce este inspirată din *Teoria gramaticilor şi limbajelor formale.*

Tabelul următor, adaptat după [JDM, pag.6], ne oferă o privire de ansamblu asupra strategiilor (abordărilor) de recunoaştere a formelor şi clasificare a imaginilor scoțînd în evidență modul specific, particular, de abordare a fiecărei strategii. De asemenea este prezentat distinct aparatul matematic implicat în analiza şi modelarea procesului de recunoaştere în cazul fiecăreia din cele patru abordări.

Strategia de abordare / Modelarea matematică	**Modele de reprezentare a atributelor (descriptorilor)**	**Modele / funcții de discriminare (recunoaştere)**	**Modele / criterii (condiții) de discriminare**
Potrivirea cea mai bună (*Template matching approach*)	mostre de pixeli, contururi, forme	funcția de corelație, diferite metrici	Minimizarea erorii/maximizare a potrivirii
Metode statistice (*Statistical approach*)	valori numerice, contururi, forme	funcția de discriminare	Minimizarea pierderii (riscului)
Rețele neuronale (*Neural networks approach*)	forme şi mărimi numerice de antrenament	funcție de decizie neuronală	Minimizarea erorii la învățare
Sintactică / structurală (*Syntactic / structural approach*)	şiruri de coduri (simboluri)	reguli de derivare (sintactice)	arbore de derivare sintactică

Tabelul sintetic de descriere a celor patru strategii de modelare a problemei recunoaşterii şi clasificării automate a imaginilor

BDD-A23871 © 2005 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

Tabelul sintetic al algoritmilor specifici folosiți la recunoașterea imaginilor grupați pe modele /strategii și repartizați pe cele patru etape ale procesului de recunoaștere

Etapa în procesul recunoaşterii → **Modelul /Strategia de abordare ↓**	**I. Preprocesarea imaginii**	**II. Extragerea atributelor (*feature extraction*)**	**III. Măsurarea atributelor (*feature measurement*)**	**IV. Clasificarea (*pattern classification*)**
A. Potrivirea cea mai bună (*Template matching approach*)	restaurarea imaginii, îmbunătățirea calității, amplificarea contrastului; eliminarea paraziților și a "zgomotului" (*noise reduction*); transformarea Fourier a imaginii, folosită mai ales pentru analizarea texturii • • •	algoritmi morfologici: *dilatare, eroziune, umplere, înfășurătoarea convexă, scheletizare;* algoritmi de segmentare a imaginii: *detectarea discontinuităților - puncte, linii, muchii (edges), conectarea segmentelor (edge linking), determinarea contururilor (boundries), filtre globale și adaptative (thresholdings), histograma;* algoritmi de reprezentare și descriere a formelor: *descrierea contururilor, momente statistice invariante, descriptori Fourier, texturi;*	algoritmi de determinare a potrivirii: *minimum distance classifier, matching by correlation*	algoritmi de determinare a graniței (*decision boundary*) între clase;
B. Modelare prin metode statistice (*Statistical approach*)			metode statistice de minimizare a pierderii (a riscului) (*conditional average risk statistical equation*)	algoritmi şi funcții de discriminare statistică: *funcția de clasificare Bayes* (*optimum statistical Bayes classifier*);
C. Modelare prin rețele neuronale (*Neural networks approach*)			perceptroni, metode de antrenare, rețele neuronale multistrat, algoritmi de învățare	metode neuronale de antrenare şi învățare, de exemplu *training by back-propagation*;
D. Modelare sintactică / structurală (*Syntactic / structural approach*)		algoritmi de reprezentare şi descriere a formelor: *înlănțuire de coduri, aproximări poligonale, semnături, descriptori topologici, shape numbers*	gramatici şi reguli de derivare sintactică, arbori de derivare (analiză) sintactică, automate finite de recunoaştere	metode de derivare şi analiză sintactică a şirurilor de coduri (*scanning*);

BDD-A23871 © 2005 Editura Universităţii „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

Înainte de trecerea în revistă a numeroaselor strategii de modelare şi a algoritmilor utilizați în sistemele de recunoaştere a formelor şi de clasificare a imaginilor, tabelul de mai sus cuprinde clasificarea sintetică unitară - pe strategii şi modele - a tuturor algoritmilor folosiți în recunoaştere, atât de numeroşi şi de diferiți. Scopul urmărit este de a aduce un spor de claritate, care poate să conducă mai apoi la un plus de utilitate practică. Parcurgerea tabelului pe linii şi pe coloane permite realizarea de corelații între modelul matematic şi strategia de recunoaştere folosite de un algoritm şi etapa din procesul de recunoaştere la care acel algoritmul este adecvat, stabilindu-se astfel cu acurateţe locul şi rolul lui practic.

Parcurgând literatura de specialitate – de exemplu colecția articolelor din *International Journal on Document Analysis and Recognition, Springer-Verlag, 2004* – se pot identifica o varietate impresionantă de metode, tehnici şi algoritmi diferiți folosite în abordarea dificilei probleme a recunoaşterii şi clasificării automate. Pentru edificare şi pentru a crea o imagine justă a multitudinii de perspective diferite existente, le vom trece în continuare în revistă. Pentru acurateţe şi pentru a permite rafinarea ulterioară a termenilor ce apar, ei vor apare în limba engleză fără traducere în limba română.

Să observăm mai întîi că în articolele de sinteză pe această temă se oferă explicit strategiile de modelare folosite, numite tehnici, metode sau abordări:

În **[TCY]** sunt oferite trei strategii generale de recunoaştere şi regăsire a imaginilor: *the signature-based technique, the partition-based approach and the cluster-based approach.*

[MSTS&N] propune o clasificare asemănătoare, tot în trei mari strategii: *text-based retrieval, content-based retrieval, and semantic-based retrieval.* Tot aici sunt trecute în revistă metodele utilizate de sistemele autoamte de recunoaştere şi regăsire a imaginilor existente pe piață. Există astfel şase criterii generale de căutare /recunoaştere /regăsire: *Color Content (CC), Shape Content (SC), Texture Content (TC), Color Structure (CS), Brightness Structure (BS) and Aspect Ratio (AR).*

Pe lângă aceste strategii sau modele generale, pot fi găsite şi alte abordări generale: *component classification using fuzzy approach***,** *User and Task-Based Approach, contextual clues and automatic pseudofeedback, relevance feedback,* etc.

Fără a epuiza subiectul, lista următoare conține o alte metode /tehnici /algoritmi ce combină strategiile de mai sus sau introduc altele noi: *Fourier transform for*

BDD-A23871 © 2005 Editura Universităţii „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

segmentation, wavelets analysis methods, multi-level color histogram, Similarity Measure methods, Dominant color classification, joint histograms, Edge angle distribution, 3D neighborhood graph model, Hough transform based methods, data covariance matrix based methods, connected component analysis, Statistical image differences methods, degradation features based techniques, Clustering methods, Skew estimation methods, skew detection using morphology, classification and segmentation using support vector machines, Multilevel thresholding – Region growing – Complex background analysis, classification and segmentation using boundary characteristics, etc.

BIBLIOGRAFIE

[VPRE] – VASILE PREDA – *Explorarea vizuală. Cercetări fundamentale şi aplicative,* Editura ştiinţifică şi enciclopedică, Bucureşti, 1988

[GOW] - GONZALEZ R., WOODS R. - *Digital Image Processing,* Prentice Hall, 2002, 2nd Edition

[JDM] – A. JAIN, R. DUIN, J. MAO – *Statistical Pattern Recognition: A Review,* IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, No. 1, January 2000

[BKKP] - BEZDEK J., KELLER J., KRISHNAPURAM R., PAL N.- *Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recogniton and Image Processing,* Kluwer Academic Publishers, 1999

[VLA] AUREL VLAICU – *Prelucrarea digitală a imaginilor,* MicroINFORMATICA, Cluj-Napoca, 1997

[ISP 1] IOAN ISPAS – *Algoritmi de prelucrare digitală a imaginilor,* Referat, Univ. Babeş-Bolyai, Facultatea de Matematică-Informatică, Cluj-Napoca, 2003

[ISP 2] IOAN ISPAS – *Baze de date de imagini,* Referat, Univ. Babeş-Bolyai, Facultatea de Matematică-Informatică, Cluj-Napoca, 2003

BDD-A23871 © 2005 Editura Universităţii „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)

[ISP 3] IOAN ISPAS – *Algoritmi de recunoaşterea formelor şi clasificarea automată a imaginilor,* Referat, Univ. Babeş-Bolyai, Facultatea de Matematică-Informatică, Cluj-Napoca, 2003

[TCY] KIAN-LEE TAN, BENG CHIN OOI, CHIA YEOW YEE - *An Evaluation of Color-Spatial Retrieval Techniques for Large Image Databases,* Multimedia Tools and Applications, 14, 55–78, 2001, Kluwer Academic Publishers

[MSTS&N] MARJO MARKKULA, EERO SORMUNEN, MARIUS TICO, BEMMU SEPPONEN AND KATJA NIRKKONEN - *A Test Collection for the Evaluation of Content-Based Image Retrieval Algorithms - A User and Task-Based Approach,* Information Retrieval, 4, 275–293, 2001, Kluwer Academic Publishers

În lucrare s-au folosit spre ilustrare imagini oferite public: *www.prenhall.com/gonzalezwoods/* - „the companion web site for students, instructors and practitioners" oferit de autorii bestseller-ului *Digital Image Processing*

BDD-A23871 © 2005 Editura Universităţii „Petru Maior"
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.217.142 (2026-11-14 18:37:02 UTC)