Asupra dificultății Problemei recunoaşterii şi clasificării imaginilor (IRC)

Ioan Ispas, UPM Tîrgu Mureş
(ispas@science.upm.ro)

Abstract: This paper it's an overview over the most important issues concerning the difficulty of the IRC Problem. It is focusing on the key step of the recognition process, the segmentation/discrimination/feature extraction step. Also, it emphasize on the less known importance of the second part of the human vision – the inverse optic or the tri-dimensional reconstruction of the scene.

Perspectiva algoritmică asupra dificultății problemelor

Definiția 1. Dificultatea unei probleme este dată de complexitatea algoritmului optim de soluționare a ei. ([ISIFL2008])

Matematic vorbind, pe baza Tezei Turing-Church, noțiunea de algoritm este echivalată printr-o Maşină Turing sau printr-o funcție recursiv-calculabilă a lui Church. Complexitatea unui algoritm, în acest context, este dată printr-o funcție O ce exprimă relația dintre numărul operațiilor de bază (paşilor) ale algoritmului şi dimensiunea vectorului datelor de intrare.

De exemplu, fie $A(I_n)$ un algoritm având ca date de intrare vectorul I_n, atunci complexitatea algoritmului este:

$$O(A) = f(n),$$

unde funcția f este funcția de complexitate a algoritmului. Ordinul de mărime sau viteza de creştere a acestei funcții exprimă complexitatea algoritmului. Ea determină mai exact modalitatea de creştere a consumului de resurse (timp sau spațiu) calculator odată cu creşterea dimensiunii vectorului de intrare.

Dificultatea problemei va fi exprimată atunci în acelaşi mod în care este exprimată complexitatea algoritmului optim: problemă liniară, problemă polinomială, problemă exponențială, etc.

Propoziția 1. Se numeşte problemă închisă o problemă a cărei dificultate este cunoscută (demonstrată).

Evident, pentru închiderea unei probleme este necesară determinarea (şi eventual proiectarea) algoritmului optim de soluționare a acesteia, măcar printr-o strategie de rezolvare. Din păcate, proiectarea şi demonstrarea optimalității unui algoritm este fapt extrem de dificil. Se cunoaşte că numărul algoritmilor optimali cunoscuți (de utilitate largă) nu depăşeşte valoarea zece sau cinsprezece. De aceea, numărul problemelor închise în informatică este extrem de redus!

Definiția 2. Printr-un algoritm optim sau optimal se înțelege cel mai bun (cel mai eficient) algoritm dintr-o clasă bine determinată de algoritmi ce soluționează problema.

Cel mai bun (cel mai eficient) algoritm este acel algoritm care consumă cea mai redusă cantitate de resurse de timp sau spațiu. Optimalitatea se demonstrează matematic în clasa de algoritmi bine delimitată pe baza operației de bază.

BDD-A23674 © 2009 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.216.143 (2026-11-18 20:53:14 UTC)

Definiția 3. Printr-o clasă de algoritmi se înțelege mulțimea algoritmilor de soluționare a problemei ce au în comun aceeaşi strategie de rezolvare, ce se bazează pe aceeaşi operație de bază inevitabilă.

Exemple de operații de bază: adunarea (sau orice operație algebrică) a două valori numerice, comparația (numerică, logică sau complexă) a două elemente, etc. Operația de bază inerentă strategiei de rezolvare, fiind inevitabilă, permite includerea în clasa de algoritmi (delimitată prin ea) a tuturor algoritmilor, atât a celor proiectați în trecut cît şi a celor ce vor fi proiectați în viitor pe baza aceleaşi strategii. Acest fapt permite demonstrarea matematică a optimalității unui algoritm, fapt ce exclude posibilitatea descoperiri ulterioare a unui algoritm de soluționare mai bun, pe baza aceleiaşi strategii de soluționare.

De exemplu, căutarea într-o listă ordonată crescător după o cheie de căutare alfa-numerică este o problemă logaritmică. Acest fapt este dat de existența unui algoritm optimal de căutare prin comparații de complexitate logaritmică: algoritmul de căutare binară. Problema căutării în listă ordonată este închisă din perspectiva rezolvării pe bază de comparații. Problema sortării unei liste (şir) de valori numerice este deasemenea închisă din perspectiva soluționării pe baza comparațiilor, dar algoritmul optimal de complexitate liniar-polinomială nu a fost încă descoperit şi proiectat.

Probleme elementare, aparent simple, cum ar fi înmulțirea matricilor numerice, sunt încă deschise, neexistând un algoritm optim de soluționare a lor. Majoritatea problemelor cu grafuri sunt deschise şi au dificultate ridicată, ele intrând în categoria problemelor NP-complete. Soluțiile cunoscute pentru acestea sunt fie algoritmi exponențiali, fie maşini Turing nondeterministice cu complexitate polinomială (NP).

Problema Recunoaşterii şi Clasificării imaginilor (Image Recognition and Classification Problem - IRC)

Procesul Recunoaşterii şi Clasificării imaginilor este descris în următoarea diagramă de proces ([ISI2007], [ISIFO2008]).

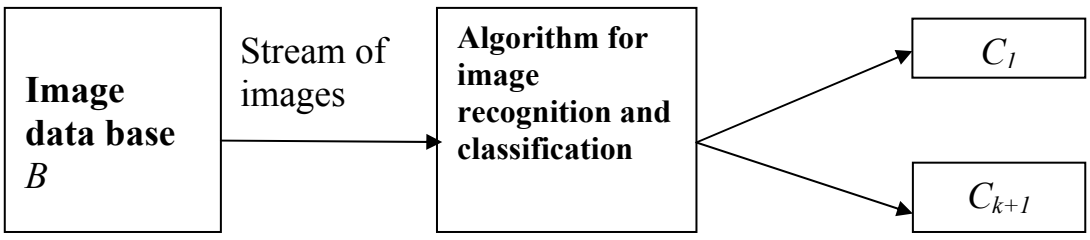


Diagrama 1. Procesul Recunoaşterii şi Clasificării imaginilor

Acest proces este des întâlnit în practică şi este de importanță strategică. Imaginile provin dintr-un flux de date (bază de date) şi trebuie să fie clasificate într-un timp cât mai scurt (optimal dacă se poate) pe baza unui obiect (subiect) ce este recunoscut în imagine. La clasele de imagini recunoscute şi clasificate $C_1, C_2, ..., C_k$ se adaugă clasa C_{k+1} a imaginilor nerecunoscute.

Literatura de specialitate descrie acest proces în patru etape sau paşi, ce pot fi văzuți în diagrama următoare ([GOW2002], [JAIN2000], [ISI2005]):

BDD-A23674 © 2009 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.216.143 (2026-11-18 20:53:14 UTC)

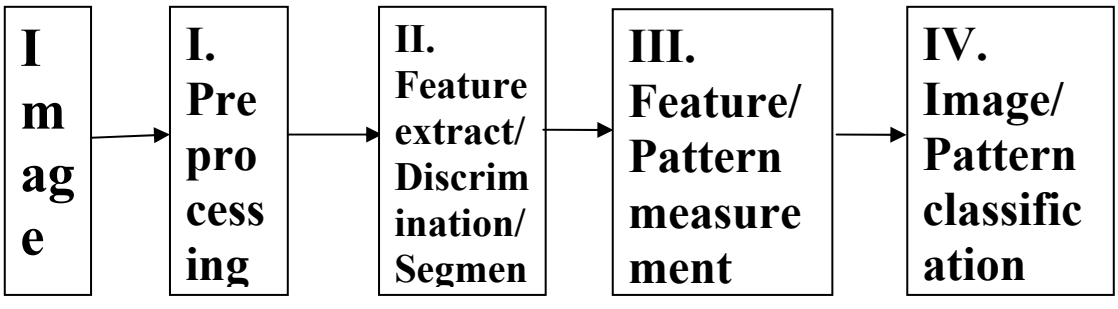


Diagrama 2. Recunoaşterea şi Clasificarea imaginilor în patru paşi (etape)

Fiecare etapă a acestui proces este inevitabilă, chiar dacă în realitate cele patru etape nu sunt distincte ci întrepătrunse ([ISI2005], [ISI2007]). Este unanim cunoscut de cei care lucrează la implementarea acestui proces că etapa a II-a este etapa cheie şi pasul critic al întregului proces. La această etapă este necesară segmentarea imaginii în subansamble în vederea extragerii unor atribute esențiale ce permit discriminarea obiectului de căutat în imagine.

Problema IRC. Să se clasifice următorul flux de imagini în *k+1* clase, fiecare clasă fiind definită de unul din cele *k* "personaje" (subiecți de recunoscut): cai, elefanți, urşi, vulturi, leoparzi, etc. aşa cum se poate vedea în tabelul 1.



Tabelul 1

O strategie cu caracter general ce surprinde esențialul acestui proces este prezentată în următorul algoritm ([ISIFO2008], [ISI2008]):

Algorithm **IRC**(image I);
For i=1,k do
    If **Discrimination**(O_k,I) return(k);
Return(k+1);

Algoritmul IRC de clasificare directă are ca şi input imaginea *I* (matrice rectangulară de pixeli numerici) şi apelează sub-algoritmul **Discrimination**(O_k,I) ce

BDD-A23674 © 2009 Editura Universităţii „Petru Maior"
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.216.143 (2026-11-18 20:53:14 UTC)

inspectează imaginea *I* pentru recunoaşterea obiectului O_k. Evident, complexitatea algoritmului IRC este, *în cel mai rău caz,* de *k* ori complexitatea sub-algoritmului **Discrimination**, care poate fi privit în acelaşi timp ca un algoritm de segmentare şi de extragere de atribute.

Etapa Segmentării/ Discriminării/ Extragerii atributelor – etapă cheie în recunoaşterea imaginilor

La modul esențial, mulțimea atributelor unui obiect (subiect) într-o imagine se reduce la vectorul pereche *Formă-Conținut (F,C).* Aceste două atribute independente permit atât delimitarea (*Forma*) cât şi identificarea (*Conținutul*) oricărui obiect/subiect (fig.1, 2 şi 3) .

Definiția 4. Prin forma (conturul) unui obiect se înțelege contorul, muchiile sau granița delimitatoare ale obiectului.

Definiția 5. Prin conținutul (coloristica) unui obiect se înțelege mulțimea informațiilor despre culoarea, întinderea (suprafața) şi ansamblare ale unui obiect.

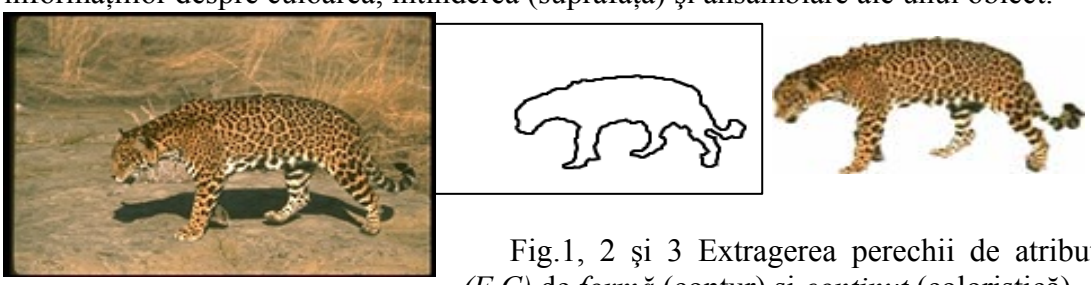


Fig.1, 2 şi 3 Extragerea perechii de atribute *(F,C)* de *formă* (contur) şi *conținut* (coloristică)

Acest demers de obținere a vectorului de atribute *(F,C)* este nu doar obligatoriu ci şi un aspect dificil al întregii probleme. În figura 4 ([MALL2000]) este ilustrat faptul că este mai corect să afirmăm că input-ul procesului de recunoaştere este, nu o imagine color sau alb-negru, ci o matrice rectangulară de intensități luminoase. Privind imaginea din dreapta, poate este de înțeles de ce recunoaşterea subiectului nu este o sarcină uşoară.

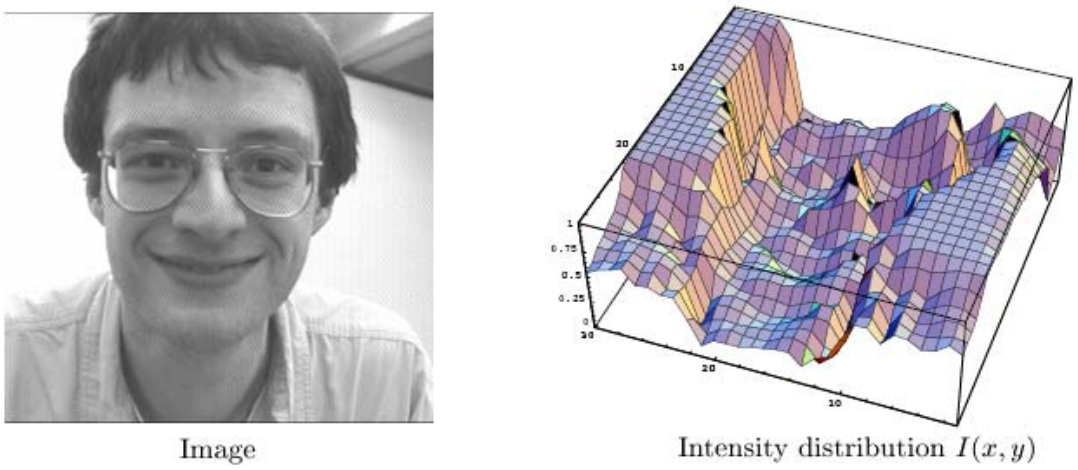
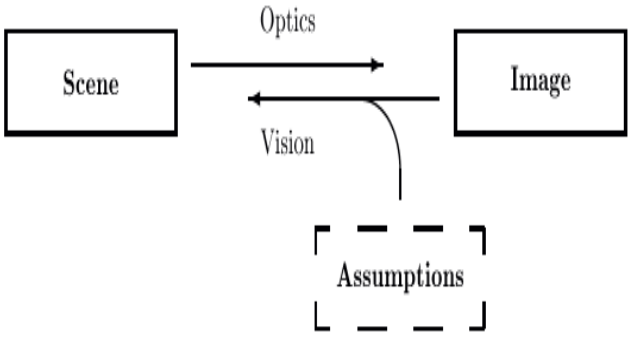
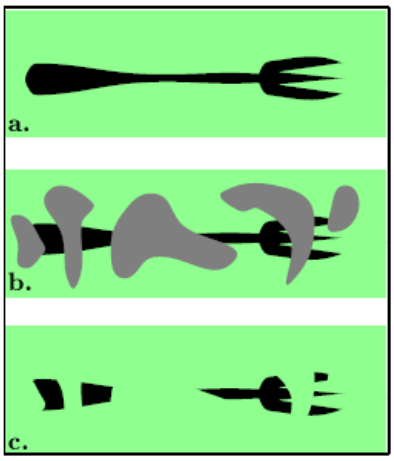


Fig.4 Recunoaşterea porneşte de la informațiile de intensitate (dreapta)

BDD-A23674 © 2009 Editura Universității „Petru Maior”
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.216.143 (2026-11-18 20:53:14 UTC)

Studii ([MALL2000]) recente asupra întregului fenomen al viziunii umane confirmă faptul că recunoaşterea subiectelor în cazul omului este un proces





obligatoriu în două etape: 1. etapa percepţiei primare (formarea viziunii şi a imaginii); 2. etapa reconstrucţiei optice tridimensionale a scenei ("inverse vision"). Figurile 5 şi 6 conţin diagrama sintetică actualizată a întregului fenomen, precum şi un exemplu semnificativ ([MALL2000]):

Fig.5 şi 6 Recunoaşterea (viziunea) umană este un proces de reconstrucţie optică



Fig. 7 Exemple de CAPTCHA ce nu pot fi recunoscute de softurile malware

Această idee poate fi regăsită şi în cazul mecanismului CAPTCHA ("**C**ompletely **A**utomated **P**ublic **T**uring test to tell **C**omputers and **H**umans **A**part") ce este folosit pe scară largă pentru discriminarea între utilizatorii umani şi roboţii malware (figura 7). Ceea ce părea, la apariţia acestei modalităţi, să confirme doar dificultatea extremă a etapei de segmentare/ discriminare, s-a dovedit a fi mai mult decât atât. Este chiar o confirmare a existenţei etapei de reconstrucţie optică (viziune inversă) în cazul procesului de recunoaştere la om.

Concluzie asupra dificultăţii Problemei recunoaşterii şi clasificării imaginilor (IRC)

Atât timp cât se va încerca modelarea matematică doar a primei faze a procesului recunoaşterii ([ISI2008]), eficienţa şi corectitudinea soluţiilor problemei IRC va rămâne la actualul nivel. Cu excepţia unor situaţii singulare şi particularizate ([JAIN2000]), nu se cunoaşte nici o soluţie generală care să permită recunoaşterea, identificarea şi clasificarea imaginilor după conţinut. Înafara mecanismului CAPTCHA care "profită" de slăbiciunea actuală a segmentării şi discriminării, mai

BDD-A23674 © 2009 Editura Universităţii „Petru Maior"
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.216.143 (2026-11-18 20:53:14 UTC)

există şi alţi algoritmi care s-au strecurat prin "breşa" creată şi se constituie în adevărate "strategii adverse" ce pot construi automat imagini de test aproape imposibil de clasificat ([ISI2009]).

Amploarea pe care a luat-o studiul domeniului Human Vision, versus dezvoltare uriaşă a domeniului Computer Vision, ne permit să concluzionăm că soluționarea problemei deschise IRC a intrat într-o a doua mare şi importantă etapă. În această etapă se realizează înțelegerea, modelarea şi transferarea abilităților umane ce țin de procesul de reconstrucție optică (inverse vision). Această etapă este în fază de derulare (acumulare) atât la nivel teoretic cât şi la nivelul implementărilor şi validărilor practice.

Bibliografie

[GOW2002] Gonzalez R., Woods R., *Digital Image Processing,* (2nd Edition), Prentice Hall, 2002

[ISI2005] Ispas Ioan, *Sinteză asupra metodelor de recunoaştere şi clasificare automată a imaginilor*, Proc. Of the 1st International Conf. on European Integration – Between Tradition and Modernity, Târgu Mureş, 22-24 sept., pag. 732-751, 2005

[ISI2007] Ispas Ioan, *The image recognition and classification, a four-stepped modeling,* Proc. Of the 2nd International Conf. on European Integration – Between Tradition and Modernity: pag. 124-132, Petru Maior University, Tirgu Mures, Sept 20-21, 2007

[ISIFL2008] Ispas Ioan, Franti Eduard, Lazo Florin, *The Complexity of the Algorithms for the Image Recognition and Classification (IRC*), Mathematics and Computers in Science and Engineering, WSEAS Press, Computational methods and applied computing Conference, Istanbul, Turkey, May 27-30, pag. 160-164, 2008

[ISIFO2008] Ispas Ioan, Franti Eduard, Osiceanu Sanda, Stoian Marius, *Basic elements in the modeling of the problem of the image recognition and classification (IRC),* Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on APPLIED ELECTROMAGNETICS, WIRELESS AND OPTICAL COMMUNICATIONS (ELECTROSCIENCE '08), Trondheim, Norway, July 2-4, 2008, pag. 135-139

[ISI2008] Ispas Ioan, *Modeling Of The Image Recognition And Classification Problem* (IRC), STUDIA UNIV. BABES-BOLYAI, INFORMATICA, Volume LIII, Number 1, pag. 113-120, 2008

[ISI2009] Ispas Ioan, *Hybridization Of The Attributes And The Difficulty Of The Problem Of The Image Recognition And Classification (IRC),* Bio-Inspired Computational Methods Used for Difficult Problems Solving: Development of Intelligent and Complex Systems, Romania, 5-7 November 2008, American Institute of Physics Conference Proceedings: AIP Volume 1117, 2009

[JAIN2000] Jain A., Duin R., Mao J., *Statistical Pattern Recognition: A Review,* IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, No.1, pag. 720-736, January 2000

[MALL2000] Mallot H.A., Allen J.S. *Computational Vision, Information Processing in Perception and Visual Behavior* (2ed), MIT, 2000

BDD-A23674 © 2009 Editura Universităţii „Petru Maior"
Provided by Diacronia.ro for IP 216.73.216.143 (2026-11-18 20:53:14 UTC)