

RECUNOAȘTEREA IMAGINILOR ÎN BAZA INDICILOR DE MOMENT

Vitalii MITITELU

Universitatea Tehnică din Moldova

Abstract: în această lucrare am prezentat noțiunea de moment și rolul momentelor în prelucrarea, recunoașterea și analiza imaginilor. Mai apoi am analizat mai amănunțit metoda recunoașterii formelor pe baza clasificării adaptive geometrice a indicilor geometrici de moment, dar am mai enumerat și alte două metode pe care le-am studiat, dar nu le-am descris aici. Este descris algoritmul și avantajele acestei metode. În următorul compartiment am prezentat rezultatele pe care le-am obținut aplicând această metodă. Articolul se sfârșește cu prezentarea concluziilor și a literaturii studiate.

Cuvinte cheie: momente; imagine; recunoaștere a imaginii; indici geometrici de moment; metoda recunoașterii formelor pe baza clasificării adaptive geometrice a indicilor geometrici de moment.

Introducere

Recunoașterea automată a obiectelor a devenit o disciplină foarte importantă în analiza imaginilor. Momentele și invarianții de moment joacă un rol foarte important ca indici de recunoaștere invariantă. Ei au fost introduși în comunitatea de recunoaștere a formelor în urmă cu aproape 50 de ani și fundalul matematic pe care îl folosesc este chiar mai vechi, provenind din a doua jumătate a secolului al XIX-lea.

În viața noastră de zi cu zi, fiecare dintre noi primește, procesează și analizează aproape constant o cantitate mare de informații de diferite tipuri, semnificație și calitate și trebuie să ia decizii bazate pe analiza ei. Mai mult de 95% din informațiile pe care le percepem este de caracter optic. Imaginea este un mediu de informare și un instrument de comunicare foarte puternic, capabil de a reprezenta scene și procese complexe într-un mod compact și eficient. Datorită acestui fapt, imaginile nu sunt doar surse primare de informații, dar sunt, de asemenea, folosite pentru comunicare între oameni și în interacțiune dintre oameni și mașini.

Imaginile digitale conțin o cantitate enormă de informații. O imagine poate fi luată și transmisă în câteva secunde prietenilor printr-un telefon mobil și conține mai multe informații decât sute de pagini de text. Acesta este motivul pentru care există o nevoie urgentă de metode automate și puternice de analiză a imaginilor.

Noțiuni generale despre momente

Momente sunt cantități scalare folosite pentru a caracteriza o funcție și pentru a determina caracteristicile sale semnificative. Acestea au fost utilizate pe scară largă de sute de ani în statistici pentru descrierea formelor funcției densității de probabilitate și în mecanica clasică a corpului rigid pentru a măsura distribuția masei unui corp. Din punct de vedere matematic, momentele sunt „proiecții” ale unei funcții pe o bază polinomială (în mod similar, transformarea Fourier este o proiecție pe bază de funcții armonice). Din motive de claritate, vom introduce niște termeni de bază și propuneri, pe care le vom folosi în acest articol.

Definiția 1.1. Printr-o funcție imagine (sau imagine) se înțelege orice funcție continuă reală pe porțiuni $f(x, y)$ de două variabile definită pe un suport compact $D \subset \mathbb{R} \times \mathbb{R}$ și având o integrală finită nenulă.

Definiția 1.2. Momentul general $M_{pq}^{(f)}$ a unei imagini $f(x, y)$, unde p, q sunt numere întregi nenegative și $r = p + q$ este numit ordin de moment, definit ca

$$M_{pq}^{(f)} = \iint_D p_{pq}(x, y) f(x, y) dx dy, \quad (1)$$

unde $p_{00}(x, y), p_{10}(x, y), \dots, p_{kj}(x, y), \dots$ sunt funcții polinomiale de bază definite pe D .

Alegerea cea mai frecventă este o bază de putere standard $p_{kj}(x, y) = x^k y^j$ care duce la momentele geometrice, descrise prin formula:

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy. \quad (2)$$

Caracterizarea imaginii prin intermediul unor momente geometrice este completă în următorul sens. Pentru orice funcție de imagine, momentele geometrice de toate ordinele există și sunt finite. Funcția de imagine poate fi reconstruită cu exactitate din setul de momente (această afirmație este cunoscută ca teorema de unicitate).

O altă alegere populară a polinoamelor de bază $p_{kj}(x, y) = (x + iy)^k (x - iy)^j$, unde i este unitatea

imaginară, duce la momente complexe

$$c_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x + iy)^p (x - iy)^q f(x, y) dx dy. \quad (3)$$

Momentele geometrice și complexe au aceeași cantitate de informații. Fiecare moment complex poate fi exprimat în termeni de momente geometrice de același ordin ca și

$$c_{pq} = \sum_{k=0}^p \sum_{j=0}^q \binom{p}{k} \binom{q}{j} (-1)^{q-j} \cdot i^{p+q-k-j} \cdot m_{k+j, p+q-k-j} \quad (4)$$

și invers

$$m_{pq} = \frac{1}{2^{p+q} i^q} \sum_{k=0}^p \sum_{j=0}^q \binom{p}{k} \binom{q}{j} (-1)^{q-j} \cdot c_{k+j, p+q-k-j} \quad (5)$$

Momentele complexe sunt introduse deoarece ele se comportă în mod favorabil la rotirea imaginii. Această proprietate poate fi utilizată în mod avantajos, atunci când construim invarianți în raport cu rotația.

Recunoașterea formelor invariante pe baza calculării adaptive a indicilor de moment ai imaginii

Să presupunem că imaginea de referință este descrisă de funcția $P(x, y)$, iar imaginea distorsionată este descrisă de funcția:

$$P(x', y') = DF \{P(x, y)\}, \text{ unde } DF - \text{operator al distorsiunii imaginii, și} \quad (6)$$

$$P(x', y') = P(x, y, e_1, e_2, e_3, e_4). \quad (7)$$

Aici e_1 – scala de modificare a imaginii; e_2 – schimbarea de orientare unghiulară a imaginii; e_3, e_4 – translarea imaginii după coordonatele x și y . În caz general $e_1 [\neq v]=1$, $e_2, e_3, e_4 [\neq v]=0$, operația $[\neq v]=$ este “ \neq ” or “ $=$ ”.

Indicii geometrici de moment ai imaginilor (IGM) de ordin $(p+q)$ ai funcției $P(x', y')$ sunt definiți ca:

$$m'_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x')^p (y')^q P(x', y') dx' dy' \quad (8)$$

IGM, invariant în translarea imaginilor, poate fi descris ca:

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x')^p (y')^q P(x+(m')_{10}/(m')_{00}, y+(m')_{01}/(m')_{00}) dx' dy' \quad (9)$$

IGM, invariant în scalarea modificării imaginilor, este:

$$\eta_{pq} = (m')_{pq} / [(m')_{00}]^{(p+q+2)/2} \quad (10)$$

IGM geometric, normalizat în modificarea scalară e_1 :

$$m_{pq} = (e_1)^{2+p+q} m'_{pq} \quad (11)$$

IGM geometric, normalizat în modificarea de rotație e_2 :

$$m_{pq} = \sum_{r=0}^p \sum_{s=0}^q \{ C_r^p C_s^q [\cos(e_2)]^{p-r+s} [\sin(e_2)]^{q+r-s} m'_{p+q-r-s, r+s} \} \quad (12)$$

unde C este numărul de combinații. IGM geometric, normalizat în modificarea poziției e_3, e_4 :

$$m_{pq} = \sum_{r=0}^p \sum_{s=0}^q \{ C_r^p C_s^q (e_3)^{p-r} (e_4)^{q-s} m'_{rs} \} \quad (13)$$

Valoarea parametrilor de distorsiune este definită după cum urmează:

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= (m'_{00} / m_{00})^{1/2}, \\ \text{unde } m'_{00}, m_{00} &\text{ sunt IGM geometrice} \\ &\text{ale obiectelor de intrare și a celor standard.} \\ e_2 &= [\arctg \{ 2\mu'_{11} / (\mu'_{20} - \mu'_{02}) \}] / 2 \\ e_3 &= m'_{10} / m'_{00} \\ e_4 &= m'_{01} / m'_{00} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Am studiat detaliat metoda de recunoaștere a invarianților pe baza clasificării geometrice adaptive IGM. Această metodă permite să extragem volumul cerut de informație din imaginea inițială și permite să o procesăm în dependență de complexitatea imaginii analizate, capabile să reorganizeze procesele de calcul și să formeze IGM geometrice, centrali, normalizați și invarianți în dependență de posibile schimbări ale scalei, orientării unghiulare a obiectului. Această metodă include următorii pași.

1. La primul pas complexitatea IC a imaginii de intrare $P(x', y')$ este calculată și apoi se determină numărul necesar de pixeli care trebuie procesați $DE = KxL$. Datele IC, DE sunt folosite pentru

extragerea informațiilor necesare de la imaginea de pe scenele de formațiuni geometrice IGM și normalizare a imaginii.

- În funcție de valoarea parametrului IC, volumul necesar de informații este extras din imaginea P (x', y'), care trebuie să fie procesată:

$$P(x', y') \square \square P_R(x_1', y_1') \quad (15)$$

unde $x'=1 \div N$, $y'=1 \div M$, $x_1'=1 \div K$, $y_1'=1 \div L$, și $K=f_1(IC)$, $L=f_2(IC)$; $K \leq N$, $L \leq M$.

- Mulțimea de IGM geometrice a imaginii $P_R(x_1', y_1')$ se calculează:

$$m'_{pq} = \iint (x_1')^p (y_1')^q P_R(x_1', y_1') dx_1 dy_1, \quad p=q=0 \div 2 \quad (16)$$

- Pe baza expresiilor (18), se definesc tipurile de distorsiuni de imagine.

Schimbarea orientării unghiulare a imaginii e_2 este îndeplinirea condiției: $m'_{11} \square 0$

Atributele deplasării imaginii e_3, e_4 sunt: $m'_{10} \square 0$ și $m'_{01} \square 0$ respectiv

- Parametrii necesari pentru distorsiunea imaginii sunt calculați:

$$e_3 = m'_{10} / m'_{00}, \quad (17)$$

$$e_4 = m'_{01} / m'_{00}, \quad (18)$$

$$e_2 = [\arctg\{2\mu'_{11} / (\mu'_{20} - \mu'_{02})\}] / 2, \quad (19)$$

$$\text{unde } \mu'_{11} = m'_{11} - e_4 m'_{10}, \quad (20)$$

$$\mu'_{20} = m'_{20} - e_3 m'_{10}, \quad (21)$$

$$\mu'_{02} = m'_{02} - e_4 m'_{01}. \quad (22)$$

- Parametrul de schimbare a scării imaginii e_1 este determinat (de echipament spațial)

- Pe baza valorilor parametrilor $e_1 \div e_4$ și în funcție de complexitatea imaginii IC, normalizarea imaginii $P_R(x_1', y_1')$ este executată:

$$P_R(x_1', y_1') \square P_N(x_2, y_2), \quad (23)$$

$$\text{unde } x_2 = e_1 [x_1' \cos(e_2) - y_1' \sin(e_2)] + e_3, \quad y_2 = e_1 [x_1' \sin(e_2) + y_1' \cos(e_2)] + e_4. \quad (24)$$

- IGM geometrice ai imaginii $P_N(x_2, y_2)$ sunt calculate, care în acest caz vor fi normalizați IGM:

$$m_{pq} = \iint (x_2)^p (y_2)^q P_N(x_2, y_2) dx_2 dy_2 \quad (25)$$

- Clasificarea obiectului este realizată pe baza de calcul a măsurii:

$$D_{mi} = \sum_p \sum_q \{ |(m_{pq})_i - m_{pq}| / |(m_{pq})_i| \}, \quad (26)$$

unde $(m_{pq})_i$ sunt IGM geometrice ai obiectului i standard, $i=1 \div Q$.

Rezultatele aplicării metodei CGAIGM

Pentru efectuarea experimentelor am utilizat următoarele imagini:



Figura 1. Imagini utilizate pentru efectuarea experimentelor cu ajutorul metodei CGAIGM.

Prima etapă a constat în extragerea informației necesare din fiecare imagine și setarea ei într-o bază de date, care ulterior va fi folosită pentru recunoașterea imaginilor.

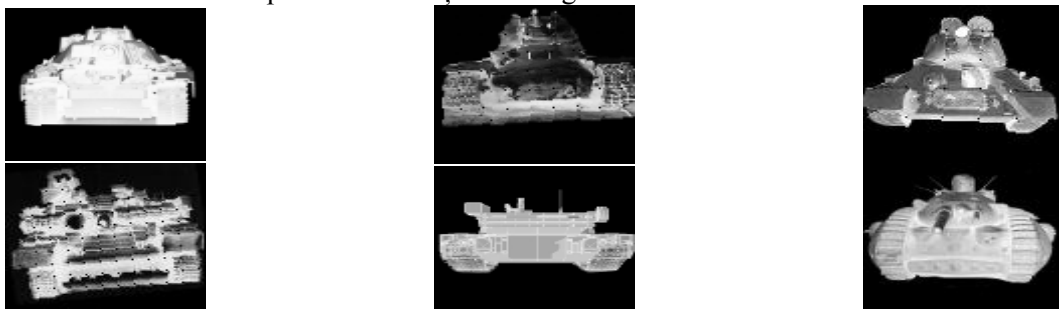


Figura 2. Formarea bazei de date cu caracteristicile esențiale ale imaginilor

La următoarea etapă am adăugat diverse efecte de distorsiune ale imaginilor, cum ar fi modificarea scării, adăugarea zgomotului, rotirea imaginii și translarea față de axele OX și OY.

Mai jos prezint graficele de recunoaștere a imaginilor studiate în baza calculării Dmi.

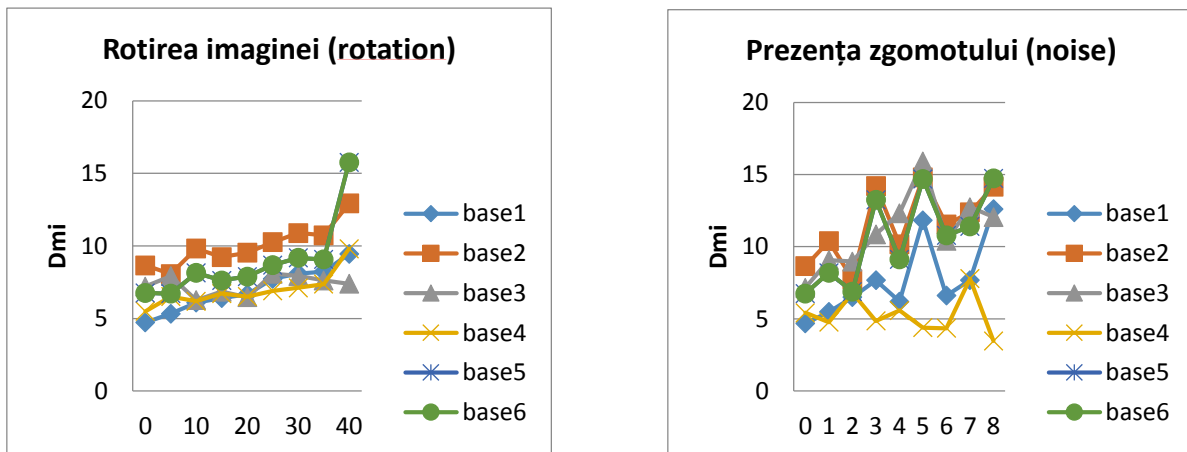


Figura 3. Recunoașterea imaginii după rotire și după modificarea zgomotului pentru metoda CGAIGM.

După cum se observă atunci când imaginea este rotită cu un unghi prea mare recunoașterea unui tip de imagini nu s-a reușit. Iar după apariția zgomotului în general imaginile sunt recunoscute corect, pot apărea unele probleme doar la valori mari ale acestuia.

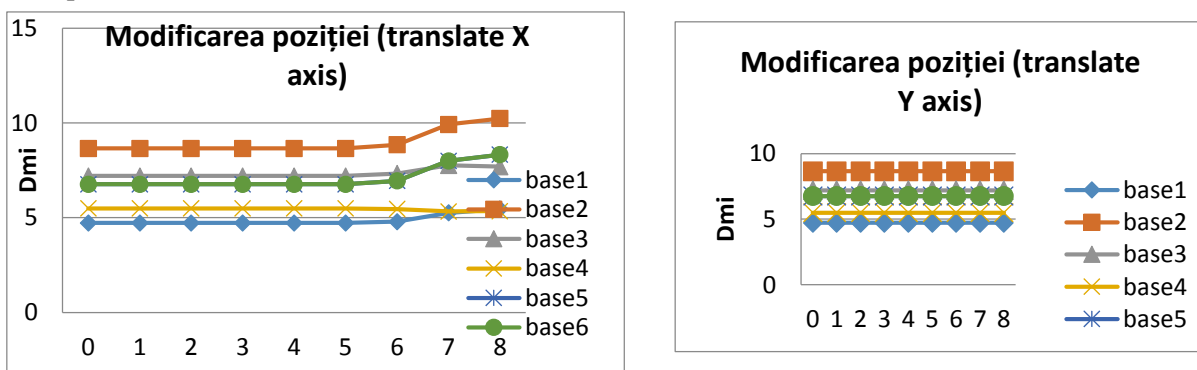


Figura 4. Recunoașterea imaginii după modificarea poziției față de axe prin metoda CGAIGM

Observăm că imaginile sunt recunoscute corect după schimbarea poziției imaginii față de cele două axe.

Concluzii

Sunt studiate trei metode de recunoaștere a modelelor invariante, bazate pe calcularea adaptivă a indicilor de moment ai imaginii (IGM). Metodele permit să extragem volumul necesar de informații din imaginea inițială și să-l procesăm în dependență de complexitatea imaginii analizate, care ulterior se stochează într-o bază de date și ne permit să recunoaștem această imagine chiar dacă este distorsionată.

Pe baza metodelor propuse am elaborat un soft care permite de a identifica obiectele care pot avea diferite poziții, orientare unghiulară, scară, și, de asemenea, determină toți parametrii necesari de distorsiune.

Din experimente se observă că la modificarea scării cu un coeficient mai mare recunoașterea unor imagini este cu mici erori, unele mici inexactități se observă și în cazul rotirii imaginii sau a prezenței unui zgomot. Cele mai bune rezultate se obțin la schimbarea poziției imaginii inițiale (față de axele X și Y).

Bibliografie

1. Guangyi C., Wenfang X. Wavelet-based moment invariants for pattern recognition. In: Journal of Optical Engineering, 2014, Jul, 50(7), p. 120-130.
2. Hilbert D. Theory of Algebraic Invariants. Cambridge University Press, 1993.
3. Wong W. H., Siu W. C. and Lam K. M. Generation of moment invariants and their uses for character recognition. In: Pattern Recognition Letters, 1995, vol. 16, p. 115-123.
4. Perju V.L. Organization of the computer means controlled by the image's parameters. In: Parallel and Distributed Methods for Image Processing, Hongchi Shi, Patrick C. Coffield, Editors, Proc. SPIE, 1997, vol. 3166, p. 360-370.
5. Hu M. K. Visual pattern recognition by moment invariants. In: IRE Trans. Information Theory, 1962, Feb, vol. IT-8, p. 179-187.