

SISTEM DE RECUNOAȘTERE A FORMELOR 2D

dr. ing. Mihaela M. Oprea

Universitatea " Petrol-Gaze" Ploiești

Rezumat: Lucrarea prezintă un sistem de recunoaștere a formelor 2D, SVA-I, utilizat pentru recunoașterea pieselor industriale. Reprezentarea formei 2D este realizată prin curba θ -s, iar ca măsură a similarității este introdusă o metodă de grupare tip Hough. Sistemul SVA-I a fost experimentat pe o serie de clase de piese din industria constructoare de mașini. Au fost supuse experimentării trei tipuri de imagini: cu piese complet vizibile, parțial vizibile și cu defecte. Rezultatele experimentale au relevat o comportare bună a metodei de recunoaștere și au confirmat faptul că timpul de răspuns al sistemului este mic, sub o secundă, sistemul SVA-I fiind recomandat aplicațiilor industriale în care dorim o recunoaștere simplă și rapidă a pieselor.

Cuvinte cheie: sistem de recunoaștere a formelor 2D, grupare tip Hough, reprezentarea formei prin curba θ -s.

1. Introducere

Aplicarea recunoașterii formelor în domeniul industrial, implică recunoașterea pieselor arbitrar poziționate și orientate, inclusiv a pieselor parțial vizibile sau cu defecte. În multe aplicații industriale de recunoaștere a formelor, este suficientă analiza formelor 2D ale obiectelor. Recunoașterea 2D se poate realiza prin utilizarea unor metode globale sau locale de recunoaștere [1]. Metodele globale se bazează pe caracteristici globale ale conturului/regiunii sau pe o reprezentare echivalentă. Astfel de tehnici sunt momentele, descriptorii Fourier, transformarea Hough generalizată etc. Metodele locale utilizează caracteristici locale, cum ar fi de exemplu, puncte dominante, curbura locală maximă, aproximații poligonale, găuri, colțuri etc. Recunoașterea formelor parțial vizibile implică utilizarea caracteristicilor locale unei forme [2], caracteristicile globale fiind incorecte în acest caz.

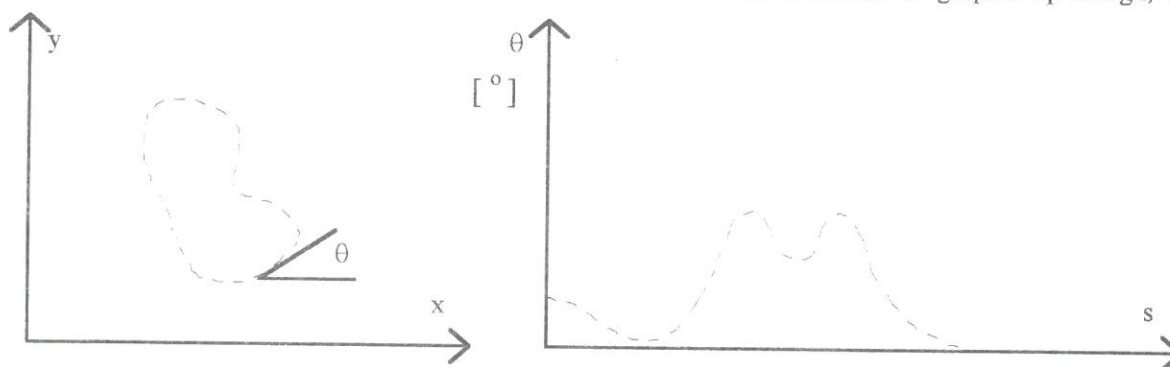


Figura 1. Reprezentarea conturului unei forme 2D

Sistemul de recunoaștere 2D, SVA-I prezentat în lucrare, este destinat recunoașterii pieselor industriale. Reprezentarea formei 2D este realizată prin curba θ -s asociată conturului

formeii. Metoda de recunoaștere, prezentată în secțiunea 2, utilizează drept măsură a similarității a două forme, de test și model, un coeficient de similaritate care măsoară gruparea maximă tip Hough din spațiul θ -s pentru aceleași diferențe între unghiurile tangente ale celor două forme [3]. Metoda permite plasarea arbitrară a pieselor, precum și existența în imagine a unor piese cu defecte sau afectate de zgomot. Ea poate fi aplicată cu succes în sisteme robot de asamblare și de sortare a pieselor din industria constructoare de mașini. Structura sistemului SVA-I este descrisă în secțiunea 3. Rezultatele experimentale, prezentate succint în secțiunea 4, au relevat o comportare bună a metodei de recunoaștere și au confirmat faptul că timpul de răspuns al sistemului este mic (sub o secundă).

2. Metoda de recunoaștere

Metoda de recunoaștere este o metodă simplă din punct de vedere computațional, ea fiind potrivită recunoașterii pieselor industriale. Conturul 2D al unei piese este transformat într-o curbă θ -s [4], unde θ reprezintă unghiul dintre o linie tangentă la contur și o linie de referință, iar s reprezintă poziția de-a lungul conturului. O formă de test poate fi recunoscută prin potrivirea modelului ideal, care este translatat de-a lungul axei s și, respectiv, al axei θ . Unghiurile tangente sunt evaluate în fiecare punct, direct dintr-o funcție polinomială cubică de aproximare. Pentru măsurarea similarității am introdus o metodă de grupare tip Hough, care

caută gruparea maximă a aceluiași diferențe între unghiurile tangente ale piesei test, respectiv, model. În figura 1, este ilustrată reprezentarea

1D a conturului unei piese, prin curba θ -s corespunzătoare.

În literatura de specialitate ([1], [4], [5]), similaritatea este definită de un coeficient de potrivire, care măsoară suma pătratelor diferențelor unghiurilor tangente între formele model și test. Acest coeficient de potrivire este sensibil la zgomot. O subestimare a unghiului tangent într-un punct de pe contur, poate duce la o modificare semnificativă a coeficientului de potrivire. Metoda de grupare tip Hough propusă pentru determinarea similarității, elimină dezavantajul anterior menționat. Similar curbelor θ -s, unii cercetători utilizează funcția curbură invariantă în raport cu orientarea, pentru a reprezenta conturul 2D al obiectelor [1]. Deoarece funcția curbură implică derivate de ordinul II, se pierd informații geometrice importante ale conturului și recunoașterea este sensibilă la zgomot. În continuare, prezentăm o metodă de recunoaștere, care are o comportare bună chiar în condițiile prezenței zgomotului, permițând și recunoașterea pieselor industriale cu anumite defecte [3].

cubică. Așadar, unghiurile tangente pot fi determinate direct, prin calculul derivatei de ordinul I a funcției polinomiale în fiecare punct de pe contur. Întrucât un segment mic al unui contur arbitrar poate fi reprezentat de o linie dreaptă, o secțiune conică sau o curbă cu un punct de inflexiune, aproximarea curbei digitale într-o regiune mică de suport, cu o funcție polinomială cubică, este corectă.

Considerăm conturul obiectului reprezentat de o listă de puncte, P_i , cu coordonate carteziene (x_i, y_i) , $i=1, 2, \dots, n$. Funcția polinomială cubică este dată de $y = f(x) = a + bx + cx^2 + dx^3$, unde a, b, c, d sunt coeficienții necunoscuți, care vor fi estimați. Fie P_i punctul de interes cu coordonatele (x_i, y_i) și regiunea de suport între punctele P_{i-k} și P_{i+k} , dată de $S_k(P_i) = \{P_j | i - k \leq j \leq i + k\}$, unde k este un număr întreg. Regiunea de suport k poate fi o constantă pentru toate punctele de contur, sau poate fi selectată adaptiv pentru fiecare punct de contur. Pentru a simplifica calculul parametrului

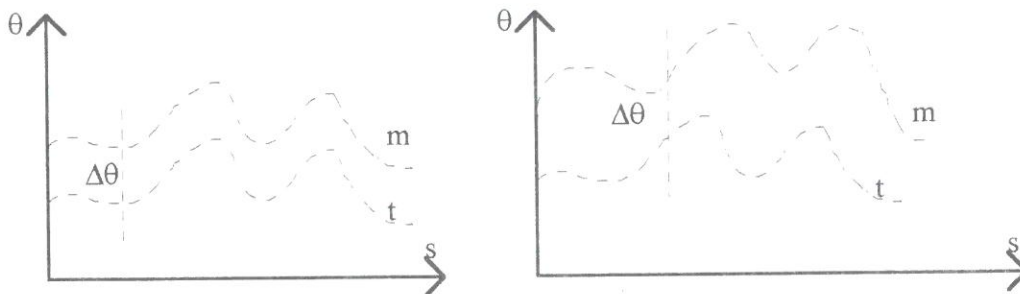


Figura 2. Contururile a două forme, de test și model, în spațiul θ -s

În figura 2, sunt reprezentate contururile a două forme, de test (t) și model (m), în spațiul θ -s. Dacă cele două forme sunt identice și au aceleași puncte de început, diferențele verticale vor fi aceleași pentru toate arcele de lungime s (figura 2 a). În cazul general, diferența verticală (de-a lungul axei θ) pentru o anumită lungime s a arcului, reprezintă unghiul de rotație $\Delta\theta$ (figura 2 b).

Prima etapă a metodei de recunoaștere o constituie determinarea unghiurilor tangente în punctele de contur. Unghiul tangent într-un punct de pe contur, este dat de diferența de ordinul I a schimbării direcției într-o vecinătate a punctului. Întrucât metodele discrete nu sunt sigure și stabile pentru obiecte cu orientări arbitrare dintr-o imagine digitală, prezentăm un algoritm continuu, care estimează unghiurile tangente prin potrivirea unui set mic de puncte eșantion pe o curbă digitală, pe care o aproximează local, cu o funcție polinomială

b și a elimina eroarea de rotunjire, vom translați P_i în originea sistemului de coordonate. Deci, toți $P_j \in S_k(P_i)$ vor fi deplasați cu $(-x_i, -y_i)$. Cei patru coeficienți ai funcției polinomiale sunt determinați prin utilizarea metodei celor mai mici pătrate, care minimizează suma pătratelor distanțelor verticale (de-a lungul axei y) ale punctelor considerate, la curbă.

Definim funcția

$$F(a, b, c, d) = \sum_{j=i-k}^{i+k} [y_j - (a + bx_j + cx_j^2 + dx_j^3)]^2 \quad (1)$$

Derivând F în raport cu a, b, c și d și egalând relațiile obținute cu zero, rezultă sistemul:

$$AX=B$$

$$\text{unde } \Lambda = \begin{bmatrix} \sum 1 \sum x_j \sum x_j^2 \sum x_j^3 \\ \sum x_j \sum x_j^2 \sum x_j^3 \sum x_j^4 \\ \sum x_j^2 \sum x_j^3 \sum x_j^4 \sum x_j^5 \\ \sum x_j^3 \sum x_j^4 \sum x_j^5 \sum x_j^6 \end{bmatrix}$$

$$X = [a \quad b \quad c \quad d]^T$$

$$B = [\sum y_j \sum y_j x_j \sum y_j x_j^2 \sum y_j x_j^3]^T$$

Soluția sistemului este dată de $X = A^{-1}B$. Unghiul tangent al punctului P_i este dat de relația (2):

$$\theta(i) = \tan^{-1} f'(0) = \tan^{-1} b \quad (2)$$

În cazul în care segmentul este aproximat cu o linie verticală, unghiul tangent este stabilit la valoarea de 90° .

Am obținut, astfel, curba $\theta(s)$ a conturului unei forme de test. În cele ce urmează, vom utiliza următoarea teoremă:

Teoremă: Fie două curbe continue închise, netede, C_1 și C_2 în planul xy și $\theta(C_1)$, $\theta(C_2)$ setul complet de unghiuri tangente ale lui C_1 și respectiv, C_2 .

$$\text{Atunci } \theta(C_1) \equiv \theta(C_2) \Leftrightarrow C_1 \equiv C_2$$

Așadar, conturul unui obiect poate fi reconstruit din setul său de linii tangente, iar curba $\theta(s)$ definește în mod unic conturul obiectului. Potrivirea unei forme test cu o formă model este redusă la măsurarea similarității curbelor $\theta(s)$ corespunzătoare, prin deplasarea formei de test de-a lungul axei s . Datorită naturii discrete a imaginii digitale, a influenței zgomotului și a schimbărilor de scală ale obiectelor, lungimea conturului unui obiect poate varia de la imagine la imagine. Pentru a rezolva această problemă, am aplicat o metodă de normalizare a lungimii conturului, metoda lungimii de curbă egală, iar lungimea conturului este dată de numărul de puncte de contur, în locul distanței exacte, euclidiene. Distanța între două puncte de contur adiacente este dată de distanța tablă de șah (relația (3)).

$$d_8(P, Q) = \max(|x - u|, |y - v|) \quad (3)$$

unde $P(x, y)$, $Q(u, v)$ sunt cele două puncte de contur, adiacente.

Deci, curba $\theta(s)$ este graficul unghiurilor tangente ca o funcție de numărul de puncte de-a lungul conturului, în raport cu un punct de start ales a fi punctul de pe conturul formei aflat cel mai aproape de axa majoră principală (linia care trece prin centrul de greutate al formei și în jurul căreia momentul de ordinul II al formei, este minim) și cel

mai departe de centrul de greutate al formei. Unghiul format de axa majoră principală cu axa Ox se determină din formula (4).

$$\alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}} \right) \quad (4)$$

unde μ_{11} , μ_{20} , μ_{02} reprezintă momente de inerție. Această alegere a punctului de start va conduce la un algoritm de recunoaștere robust și stabil.

Fie

$$M = \{P_1, P_2, \dots, P_m\} \text{ mulțimea punctelor}$$

conturului digital al formei model

și

$$T = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_t\}, \text{ mulțimea punctelor}$$

conturului digital al formei test.

În urma aplicării procedurii de eșantionare, recunoașterea va fi invariantă la modificări de scală. Fie $n = \min\{m, t\}$, unde m și t

reprezintă numărul de puncte de pe conturul inițial al formelor model, respectiv test. Punctele de contur sunt reeșantionate și sunt date de

$$M' = \{P'_1, P'_2, \dots, P'_n\}$$

și

$$T' = \{Q'_1, Q'_2, \dots, Q'_n\}.$$

Procedura de reeșantionare păstrează forma curbei θ -s, chiar dacă lungimea curbei nu este măsurată de distanțe precise, euclidiene.

În procesul de potrivire, curba θ -s a formei model se va afla deasupra curbei θ -s a formei test, deci $\theta(M') \geq \theta(T')$. Erorile date de unghiul de rotație pot fi eliminate prin adunarea unui factor de compensare, conform relației (5).

$$\theta(P'_i) = \theta(P'_i) + \text{sgn}[\theta(P'_i) - \theta(Q'_i)] \cdot 180^\circ, \quad i=1, \dots, n \quad (5)$$

unde

$$\text{sgn}[\theta(P'_i) - \theta(Q'_i)] = \begin{cases} 1, & \theta(P'_i) < \theta(Q'_i) \\ 0, & \text{altfel} \end{cases}$$

Acest factor de compensare va elimina inconșistența diferențelor unghiurilor tangente de-a lungul axei s . În continuare, prezentăm procedura de determinare a gradului de potrivire între forma test și forma model. Definim un coeficient de similaritate care ne dă o măsură a gradului de potrivire între o formă test și o formă model, utilizând tehnica grupării de tip Hough. Pentru aceasta, considerăm un tablou acumulator $Z_s(\Delta\theta)$ pentru un punct de start s , unde $\Delta\theta$ reprezintă diferența unghiurilor tangente a două curbe θ -s. Curba θ -s a formei test este translatață de-a lungul axei s , cea mai bună potrivire fiind

dată de valoarea maximă a lui $Z_s(\Delta\theta)$. Algoritmul de determinare a numărului maxim de puncte potrivite între forma test și forma model este următorul:

1. inițializează $Z_{\Delta\theta}=0$
2. pentru $s=0, n-1$ execută
 - 2.1 pentru $\Delta\theta=0, 180$ execută
 - $Z_s(\Delta\theta)=0$
 - /* pentru */
 - 2.2 pentru $i=1, n$ execută
 - $j=(i+s) \bmod n$
 - $\Delta\theta = \theta(P'_i) - \theta(Q'_j)$
 - $Z_s(\Delta\theta)=Z_s(\Delta\theta)+1$
 - /* pentru */
 - 2.3 $Z_s(\Delta\theta^*) = \max\{Z_s(\Delta\theta) \mid 0 \leq \Delta\theta \leq 180\}$
 - $Z_{\Delta\theta} = \max\{Z_{\Delta\theta}, Z_s(\Delta\theta^*)\}$
 - /* pentru */
 - /* sfârșit algoritmul */

Definim coeficientul de similaritate astfel:

$$R = \frac{Z_{\Delta\theta}}{n}, 0 \leq R \leq 1$$

O potrivire perfectă a două curbe θ -s va conduce la un coeficient de similaritate maxim cu valoarea 1. Valoarea lui R este invariantă RST. Penalizarea pentru un punct clasificat eronat, în spațiul θ -s, este de $\frac{1}{n}$.

3. Sistemul experimental SVA-I

Sistemul SVA-I este destinat recunoașterii pieselor din industria constructoare de mașini.

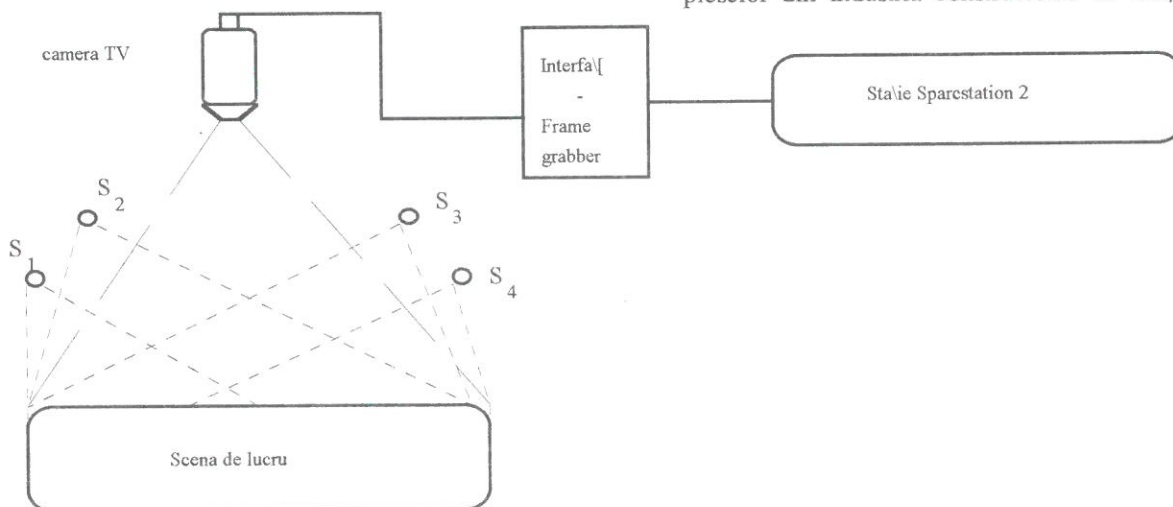


Figura 3. Structura sistemului SVA-I

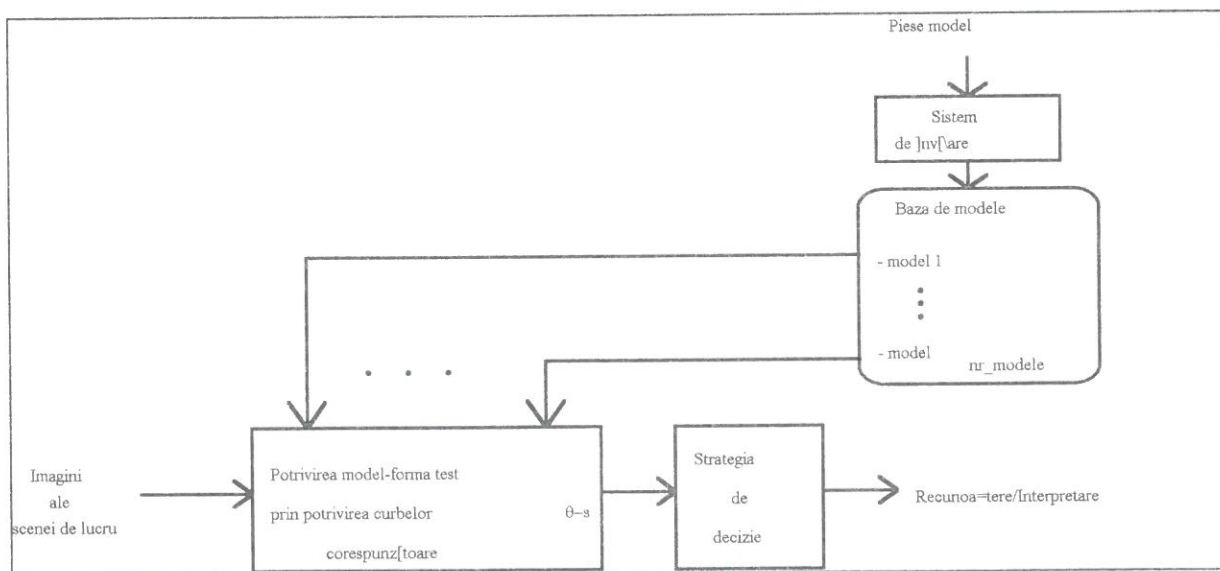


Figura 4. Schema bloc a sistemului SVA-I

Recunoașterea se realizează prin aplicarea metodei prezentate în secțiunea 2. Structura sistemului SVA-I este prezentată în figura 3 și cuprinde: o stație de lucru SUN Sparcstation-2 cu accelerator grafic GX (32MB memorie RAM), frame grabber Videopix, o cameră TV. Imaginile preluate de camera TV sunt preprocesate (eliminarea zgomot, filtrare, etc) înainte de a fi preluate de SVA-I. Sistemul de iluminare cuprinde patru surse de lumină (patru lămpi). Mediul software de lucru este X11R4/OpenWindows, iar limbajul de programare utilizat este C++.

Sistemul SVA-I realizează recunoașterea pieselor industriale ce au fost anterior învățate. Etapa de învățare are loc în faza de inițializare a sistemului. Clasele de piese ce pot fi recunoscute sunt definite prin învățare, o clasă fiind caracterizată prin proprietăți comune tuturor membrilor ei și poate fi regăsită printr-un nume identic cu cel al pieselor din acea clasă. Piesele învățate de sistem sunt memorate într-o bază de cunoștințe (o bază de modele).

În figura 4, este prezentată schema bloc a sistemului SVA-I.

Sistemul de recunoaștere 2D utilizează o variantă îmbunătățită a algoritmului de recunoaștere, care realizează o căutare informată în baza de modele, ghidată de o euristică. Practic, sistemul emite anumite ipoteze privind identitatea piesei de test, restrângând astfel, spațiul de căutare.

4. Rezultate experimentale

Sistemul SVA-I a fost experimentat pe o serie de clase de piese din industria constructoare de mașini [3]. Au fost supuse experimentării trei tipuri de imagini: cu piese complet vizibile, parțial vizibile și cu defecte. Coeficientul de similaritate este dat de relația (6).

$$R = \frac{1}{n} \sum_{\Delta\theta = \Delta\theta^* - 10}^{\Delta\theta^* + 10} Z_s(\Delta\theta) \quad (6)$$

În tabelul 1 sunt prezentate rezultatele experimentale, obținute în cazul recunoașterii pieselor din figura 5.

Din tabelul 1 observăm că în cazul pieselor 3 și 4, coeficientul de similaritate este sub 0.62 (limita minimă prestabilită). Deci, nu putem decide cărei clase aparțin aceste piese. Totuși, dacă determinăm și numărul de găuri, putem emite o serie de ipoteze privind identitatea lor.

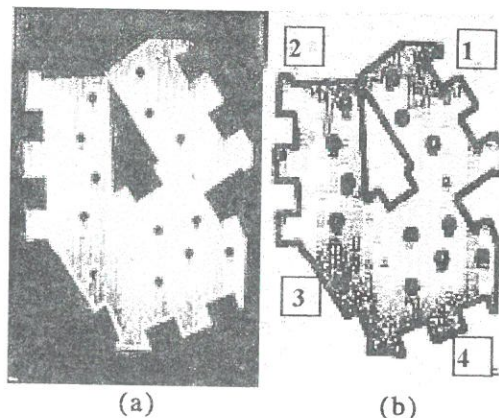


Figura 5. (a) Imaginea de test
(b) Imaginea segmentată

Piesa	1	2	3	4
Coeficientul de similaritate	0.81	0.78	0.17	0.48
Piesa model	F	F	?	?
Num[r]g[uri]	4	4	2	3

Tabelul 1.

Localizarea pieselor se realizează cu metoda descrisă în lucrarea [6]

Piesa	1	2	3	4	5	6
Coeficientul de similaritate	1	0.95	0.74	0.96	0.78	1
Piesa model	H	J	G	K	C	I
Num[r]g[uri]	1	0	0	3	0	1

Tabelul 2.

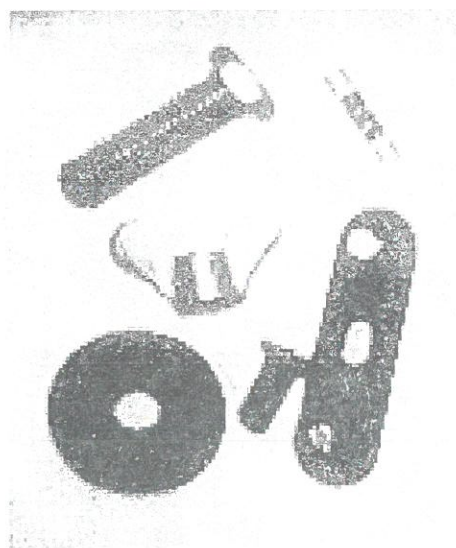
În tabelul 2 sunt prezentate rezultatele experimentale, obținute în cazul recunoașterii pieselor din figura 6.

5. Concluzii

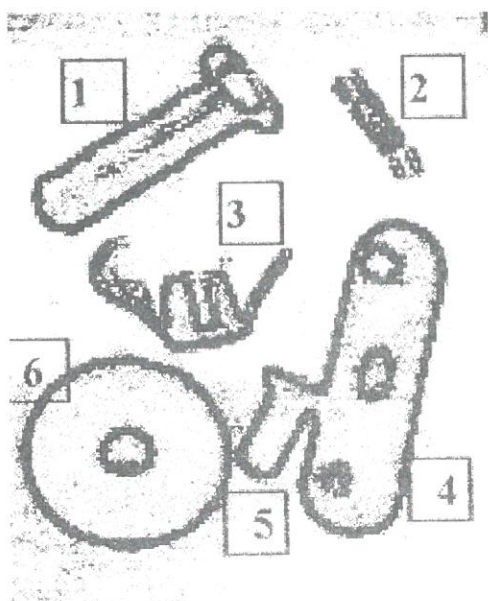
Sistemul de recunoaștere a formelor 2D, care a fost prezentat în lucrare, permite o recunoaștere simplă și rapidă a formelor 2D, în condițiile utilizării eficiente a resurselor sistemului de calcul. Sistemul experimental SVA-I este destinat aplicațiilor industriale de recunoaștere a pieselor din industria constructoare de mașini.

Rezultatele experimentale au relevat o comportare bună inclusiv în unele situații în care piesele aveau defecte sau erau parțial vizibile. Totuși, în cazul în care nu se poate stabili identitatea pieselor, soluția propusă este aceea de

a emite o serie de ipoteze privind identitatea lor, ipoteze care vor fi verificate de sistem.



(a)



(b)

Figura 6. (a) Imaginea de test ;
(b) Imaginea segmentată

Valorile coeficientului de similaritate sunt, în general, mai mici decât 1, datorită faptului că piesele sunt parțial vizibile, sau prezintă anumite defecte. De asemenea, zgomotul, iluminarea insuficientă, efectul de umbrire și reflexia suprafețelor unor piese afectează valoarea coeficientului de similaritate. Metoda nu dă rezultate bune în cazul în care piesele cu defecte sunt parțial acoperite sau când gradul de vizibilitate al pieselor este mic, depășind o anumită limită. Pentru astfel de cazuri se poate utiliza metoda de recunoaștere prezentată în [2]. Avantajul major al metodei de recunoaștere prezentată în secțiunea 2 este timpul mic de răspuns al sistemului (sub o secundă) care-l recomandă în aplicații de recunoaștere în timp real.

Bibliografie

1. NEAGOE, V., STĂNĂȘILĂ, O.: Teoria recunoașterii formelor, Editura Academiei, București, 1992.
2. OPREA, M.: Asupra unei metode de recunoaștere a formelor parțial vizibile, Lucrările Conferinței Anuale a Societății de Științe Matematice din România, București, 1998, vol. I, pp. 457-462.
3. OPREA, M.: Contribuții la elaborarea unor algoritmi de recunoaștere a formelor cu aplicații la roboți, teză de doctorat, Universitatea "Petrol-Gaze", Ploiești, 1996.
4. PRATT, W.K.: Digital Image Processing, John Wiley and Sons, New York, 2nd edition, 1991.
5. VANCEA, R., HOLBAN, ȘT., CIUBOTARU, D.: Recunoașterea formelor-Aplicații, Editura Academiei, București, 1989.
6. GRIMSON, W.E.L., LOZANO-PEREZ, T.: Localizing overlapping parts by searching the interpretation tree, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 9(4), pp. 469-482, 1987