

CAP.7 SENZORI VIZUALI

7.1. Generalități

Abordăm și acest capitol prin prisma paralelei biomecanice operator uman - robot industrial.

Din punct de vedere filozofic mâna umană poate fi considerată ca unul din factorii majori care au determinat evoluția umană. Acest lucru a fost posibil prin conlucrarea cu creierul uman și *vederea binoculară*.

Robotul industrial (RI) constituie componenta cu cea mai mare flexibilitate a sistemului de producție flexibil. "În 5 ani, 30 - 40 % din roboți vor dispune de captori video" declara în iunie 1983 Joseph Engelberger, fondatorul lui Unimation și părintele primilor roboți industriali. A apărut astfel o nouă știință "vizionica"[7.1]

Aplicațiile senzorilor vizuali - a vederii artificiale - sunt extrem de variate în toate sectoarele (industriale sau neindustriale). Putem aminti astfel:

- *control și inspecție*: stări de suprafețe, culori, aspect, forme, contur, dimensiuni (liniare, plane sau spațiale);
- *verificarea*: prezenței sau absenței unui subiect, simboluri, caracter, semnătură;
- *identificări și localizări de obiecte*: în plan (2D) sau spațiu (3D);
- *lectură* (cu sau fără recunoaștere): caractere alfanumerice, valori numerice;
- *urmărirea unui contur*: cordon de sudură etc.

În fabricația flexibilă se pot menționa 3 clase mari de utilizare a senzorilor vizuali (această împărțire nu este unică [7.2])[7.1]:

- a) inspecția
- b) identificarea obiectelor
- c) controlul și comanda RI.

a) *Inspecția* care reprezintă majoritatea aplicațiilor industriale ale senzorilor vizuali (~ 70 % după experți) cuprinde: măsurări tridimensionale, verificarea prezenței sau absenței componentelor în scena observată, controlul de calitate.

Este posibilă urmărirea în timp real a evoluției cotelor unei piese și cunoașterea modificărilor de adus (reglaje, schimbări de scule etc.).

Verificarea prezenței și a orientării corecte a unei piese nu este suficientă întotdeauna. Este posibil ca piesa să se prezinte cu defecțiuni funcționale care pot compromite ulterior funcționarea corectă a produsului finit (deformări, uzură).

Un exemplu edificator îl constituie inspecția măștilor fotografice pentru circuitele integrate. O inspecție clasică (de ex. manuală) necesită 10 - 15 ore de muncă / masă în timp ce varianta automatizată necesită 10 - 15 minute.

b) *Identificarea*. În cursul unei operații de inspecție (control) se pot examina caracteristicile unui obiect fără a fi necesară recunoașterea acestuia. Într-o serie de aplicații industriale este necesară identificarea pieselor pentru a se lua o decizie și a se realiza un clasament (fig.7.1).

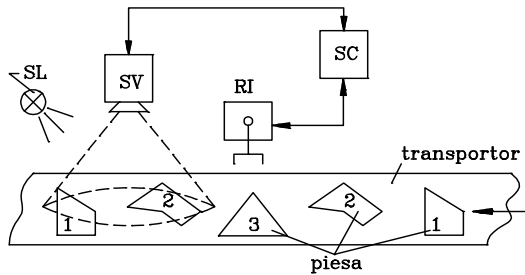


Fig.7.1. Senzorul vizual și recunoașterea formelor

Într-o fază anterioară sistemul de comandă (SC) este dotat cu imaginea pieselor "1", "2", "3" care fac obiectul problemei în sine (metoda comparării cu un etalon), cu caracteristici cantitative (metoda de sortare) sau o descriere formală a acestora prin limbaje formale (metoda sintactică). Prin compararea imaginii analizate cu cea din memorie se stabilește calea de urmat conform unui program de lucru.

În multe uzine de automobile se utilizează senzori vizuali pentru recunoașterea tipului de caroserie care trece pe un conveyor. Această informație este furnizată robotului industrial de vopsire din aval care execută operația următoare (fig.7.2).

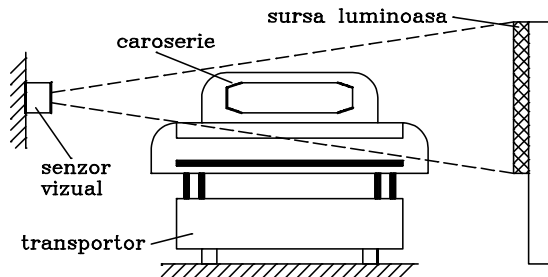


Fig.7.2. Recunoașterea unei caroserii

c) Controlul și comanda RI. Pe baza informației obținute de la senzorul vizual se pot estima pozițiile de situare a unor piese, coordonatele de prehensare, se pot determina distanțe, prezența unor obstacole etc. Aceste informații prelucrate permit comanda RI în vederea executării unei anumite operații.

7.2. Legătura senzorului vizual cu robotul industrial.

Considerăm o fracțiune din componența unui sistem flexibil de fabricație: un robot industrial (RI), senzorul vizual, un transportor, o piesă (fig.7.3). Sistemul mecanic al RI are atașat sistemul de coordonate (cartezian, cilindric sau sferic) $O_0X_0Y_0Z_0$.

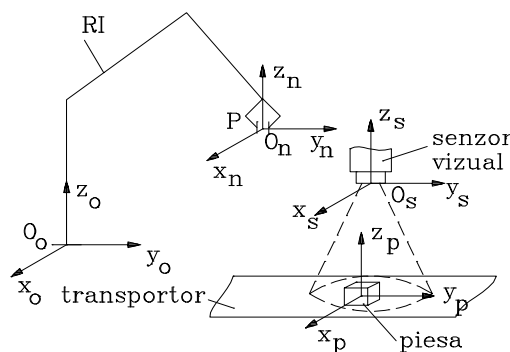


Fig.7.3. Legătura senzor vizual-robot industrial

Descrierea mișcării punctului caracteristic P se poate face fie în sistemul de coordonate al RI fie într-un sistem de coordonate general (de obicei un sistem cartezian).

Transformarea coordonatelor de la un sistem (i) la altul (i-1) este descrisă de matricea de trecere:

$$A_i^{(i-1)} = \begin{bmatrix} R_{3*3} & T_{1*3} \\ 0 & I \end{bmatrix} \quad (7.1)$$

unde: $R_{3 \times 3}$ este matricea de orientare a sistemului (i) în raport cu sistemul (i-1); $T_{1 \times 3}$ este matricea care descrie poziția originii sistemului (i) față de (i-1).

Senzorul vizual (1) are atașat sistemul de coordonate propriu $O_s X_s Y_s Z_s$. Matricea A_S^0 descrie situarea senzorului vizual față de sistemul de baza și este cunoscută.

Piesa care face obiectul unei operații humanoide are atașat sistemul propriu de axe $O_p X_p Y_p Z_p$ și se află pe transportor într-o poziție oarecare. Pentru simplificarea analizei se consideră că transportorul se găsește în stare de repaus. Matricea A_P^S descrie situarea sistemului de coordonate al piesei față de cel al senzorului.

Situarea sistemului de coordonate al piesei în raport cu cel de bază este descrisă de matricea:

$$A_P^0 = A_S^0 \cdot A_P^S \quad (7.2)$$

Poziția unui punct M din piesă $M_{1 \times 3} = [x_p \quad y_p \quad z_p \quad 1]^T$ în raport cu sistemul de coordonate general este descrisă de ecuația:

$$\begin{bmatrix} x_p^0 \\ y_p^0 \\ z_p^0 \\ 1 \end{bmatrix}^T = A_P^0 \cdot \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \\ 1 \end{bmatrix}^T \quad (7.3)$$

Se pot stabili în acest mod mișcările în fiecare cuplă cinematică a RI astfel încât să se realizeze în final corespondența dorită între punctul caracteristic P și punctul M.

Dacă transportorul este în mișcare este necesar să se coreleze viteza punctului caracteristic și cea a transportorului.

7.3. Principii de realizare a senzorului vizual.

7.3.1. Generalități.

Senzorul vizual constă în esență dintr-un receptor video clasic, utilizat în televiziune. Acest senzor este practic un generator de date electronice care convertește imaginea luminoasă într-un șir de semnale analogice electronice folosind tehnicile optoelectronice.

Receptoarele video au urmat o evoluție impusă de dezvoltarea electronicii. Deși varietatea constructivă a receptorului video de-a lungul timpului este destul de mare câteva soluții se fac remarcate; varianta bazată pe tuburi *orticon*; varianta bazată pe tuburi *vidicon*; varianta cu *matrice de fotodiode pe corp solid*; traductoare fotoelectrice cu *dispozitive cuplate prin sarcină (CCD)*.

Alegerea unui anumit tip de senzor este determinată de o serie de caracteristici calitative și nu în ultimul rând de prețul de cost.

7.3.2. Tubul orticon.

Tubul orticon face uz de fenomenul de fotoemisie - emisia electronică a unei suprafețe activate de lumină. Schema unui tub orticon este prezentată în figura 7.4 [7.3].

Imaginea care trebuie sesizată este focalizată pe un plan transparent care este compus dintr-o placă colectoare, care la rândul ei este adiacentă mozaicului.

Placa colectoare este realizată dintr-un material transparent conductiv electric.

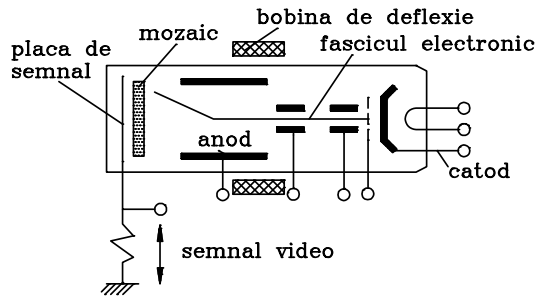


Fig.7.4. Tubul orticon

Mozaicul este format dintr-o placă pe care s-a depus un strat fotoemitor pe baza de cesiu, rezultând un complex de 10^9 celule fotoemitive independente. Un fascicul de electroni este emis dinspre catod și focalizat pe mozaic. Acest fascicul este dirijat astfel încât să baleieze mozaicul de la stânga la dreapta, respectiv de sus în jos.

Să considerăm că pentru un interval de timp extrem de redus procesul de baleiere poate fi oprit astfel încât

fasciculul de electroni să fie focalizat asupra unui singur punct sensibil al mozaicului.

Cind punctul sensibil nu este iluminat cu lumina provenind de la imaginea vizualizată, electronii sunt reflectați înapoi către catod și sunt atrași spre anod. Pe placa colectoare nu este generat nici un curent și deci semnalul video este zero.

Dacă punctul sensibil este iluminat, dinspre scena vizualizată, pe rezistența plăcii colectoare va lua naștere o tensiune proporțională cu intensitatea iluminării punctului respectiv.

Fasciculul de electroni scanează întreaga suprafață a mozaicului, astfel încât la ieșirea de pe placa colectoare se obține un semnal video analogic.

7.3.3. Tubul vidicon.

Vidiconul a câștigat o deosebită popularitate în special datorită costului scăzut. În esență, acesta este un tub de sticlă vidat, proiectat pentru sistemele de baleiaj tradiționale. Tipurile comerciale sunt standardizate pentru diametre de 12.7 mm, 25.4 mm și 38.1 mm. Pentru scopuri speciale, s-au proiectat tuburi vidicon și cu diametre până la 114.3 mm.

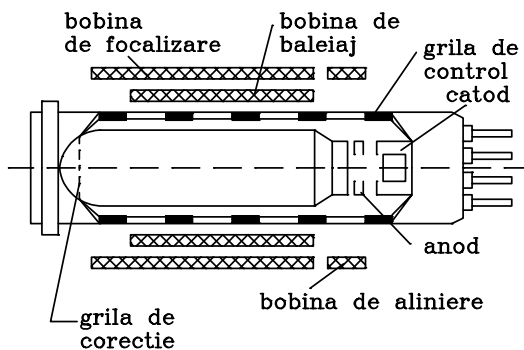


Fig.7.5. Tubul vidicon

Schema principală a unui tub vidicon este prezentată în figura 7.5 [7.5]. Forma uzuală a acestuia este cea a unui cilindru având la un capăt cele 8 terminale, iar la celălalt, o față plană din sticlă optică. Pe fața interioară a acestei sticle optice se află un strat transparent și bun electroconductiv, făcând contact electric cu un inel exterior. Peste acest strat, se depune prin evaporare un strat fotoconductiv (mozaic) (sulfura de antimoniu, sulfura de cadmiu sau oxid de plumb). Fața liberă a mozaicului este baleiată de fasciculul de electroni

generat de tunul electronic situat în partea opusă a tubului.

Focalizarea fascicului de electroni și câmpurile de baleiaj pot fi electrice, magnetice (cele mai răspândite) sau mixte. Potențialul suprafeței (interioare) baleiate de fasciculul electronic este adus de către acesta la un potențial ușor negativ (până la -1 V) în raport cu catodul care furnizează electronii. Cea de a doua suprafață a stratului conductiv este conectată la un potențial pozitiv de 10...100 V.

Imaginea optică a scenei vizualizate este focalizată pe stratul fotoconductiv al țintei printr-un sistem de lentile optice. Rezistența acestui strat se reduce în funcție de cantitatea de lumină incidentă pe fiecare punct. Fasciculul electronic, focalizat într-un spot fin, parcurge fiecare punct al imaginii în procesul de baleiaj lăsând fiecare punct al țintei complet încărcat. În timp ce fasciculul baleiază restul țintei, sarcina de pe fiecare punct sensibil anterior baleiat începe să se descarce și astfel potențialul suprafeței crește. La reîntoarcerea sa, fasciculul electronic reîncarcă suprafața liberă, iar electronii depuși sunt compensați instantaneu cu o sarcină pozitivă indusă în sens opus suprafeței libere a țintei [7.5]. Această sarcină constituie în realitate semnalul video preluat de pe un rezistor de sarcină și amplificat în mod corespunzător.

Performanțele caracteristice cerute unui tub sunt următoarele:

- a) sensibilitatea și caracteristica de transfer. Tuburile vidicon posedă o fotosensibilitate ridicată. Orice precizare privind sensibilitatea trebuie să includă o referință la nivelul de iluminare și la tensiunea și curentul de obscuritate la care au fost măsurate.
- b) răspunsul în timp sau remanența. Remanența este consecința a doua cauze: remanența inerentă în procesul de descărcare al fascicului electronic și inerția procesului fotoconductiv. Remanența descrește cu creșterea iluminării.
- c) rezoluția imaginii. Tubul vidicon posedă o rezoluție liniară înaltă (până la 700 linii de explorare). Rezoluția este limitată în principal de dimensiunea finită a fascicului de baleiaj focalizat.
- d) geometria imaginii. Distorsiunea imaginii este stabilită de optica electronică a tubului ca și de acțiunea câmpurilor de baleiaj și de focalizare ale fascicului electronic. O îmbunătățire considerabilă a geometriei se poate obține prin creșterea diametrului bobinelor de deflexie.
- e) răspunsul spectral (dependența sensibilității de lungimea de undă)

Trebuie menționat faptul că senzorul vizual de tip vidicon are totuși o serie de deficiențe. Se pot aminti dintre acestea: siguranța de exploatare redusă (determinată de balonul de sticlă al tubului și de încălzirea la incandescență a tunului electronic), necesitatea utilizării la tensiuni ridicate în vederea obținerii imaginii de exploatare, variația geometriei imaginii de exploatare funcție de temperatura și de tensiunea de alimentare [7.4].

7.3.4. Matrice de fotodiode pe corp solid (sidiconul)

Senzorul vizual se bazează pe baleierea prin intermediul unui fascicul electronic a unei matrici de fotodiode montate într-un tub vidat.

Structura care s-a impus este cea a unei matrici de diode "pn" polarizată invers. În figura 7.6 se prezintă construcția principală a țintei cu matrice de diode din siliciu. Substratul "n" este polarizat pozitiv în raport cu catodul, astfel încât joncțiunile "pn" ale diodelor sunt blocate.

Golurile produse de fotoni în substratul "n" difuzează în zona redusă, traversând joncțiunea "pn" și ridicând potențialul zonei "p". Stratul de bioxid de siliciu, situat între diode, are rolul de a interzice fascicului electronic să bombardeze substratul "n" producând astfel un semnal nedorit.

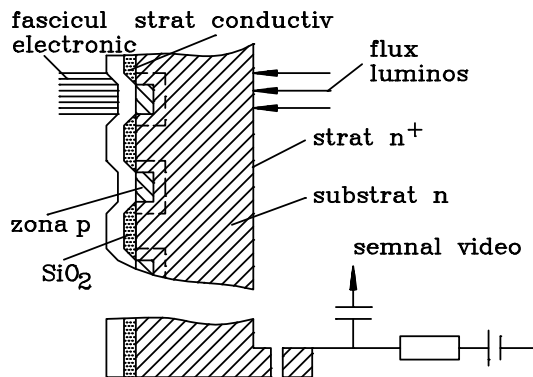


Fig.7.6. Sensor vizual cu matrice de diode pe suport solid

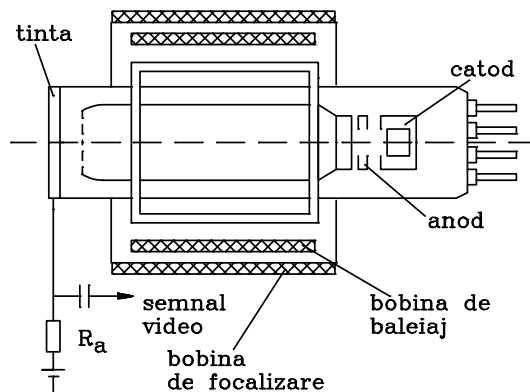


Fig.7.7. Sensor vizual

Schema unui senzor vizual realizat pe acest principiu este prezentată în fig.7.7.

În comparație cu sistemele cu tub vidat matricele de fotodiode pe corp solid se deosebesc printr-o rezistență mecanică mai mare, siguranță mai mare, masă și gabarit reduse, tensiuni de alimentare și consum de energie mici, fotosensibilitate și domeniu dinamic raportate la luminozitate mai ridicate, posibilitatea adresării pe elemente și ieșirea paralelă a semnalului.

Dintre dezavantajele matricilor de fotodiode (în comparație cu celelalte soluții) se pot aminti: rezoluția spațială relativ redusă în câmp, o neomogenitate reală a caracteristicilor fotoelectrice ale diferitelor elemente, dimensiunile relativ reduse ale matricii (valorile tip sunt de 32 x 32 mm și 64 x 64 mm). În sistemele vizuale ale roboților matricele de fotodiode se folosesc pentru problemele care necesită o acționare rapidă și o rezoluție spațială redusă.

7.3.5. Sensor vizual cu dispozitive cu sarcini cuplate prin sarcină (CCD - Charge Coupled Devices).

7.3.5.1. Generalități

Conceptul transferului de sarcină a fost descris de Boyle și Smith de la Bell Telephone în 1970.

Acest principiu constructiv este o variantă aparținătoare tehnologiei dispozitivelor cu transfer de sarcină (CTD - Charge transfer device). Alte variante care pot fi amintite sunt: dispozitive cu acumulare de sarcină BBD (bucket brigade devices), dispozitive cu injectare de sarcini CID (charge injection devices).

Din punct de vedere constructiv senzorul CCD este o matrice de elemente fotosensibile executate pe cristal semiconductor prin metoda microfotolitografierii [7.4]. Dacă pe suprafața acestui sistem se proiectează un relief luminos, atunci în fiecare element se formează o sarcină localizată de purtători de sarcină minoritară (la potențial minim) și de

mărime proporțională cu mărimea fluxului luminos pe elementul dat și cu timpul de acumulare. Distribuția mărimilor sarcinilor acumulate repetă relieful luminos vizualizat. După experirarea timpului de acumulare (de obicei este fix) sarcinile sunt deplasate succesiv pe linii și cadre și îndepărtate din structura senzorului prin dispozitivul de ieșire (registru). Semnalul astfel obținut formează semnalul video (fig.7.8).

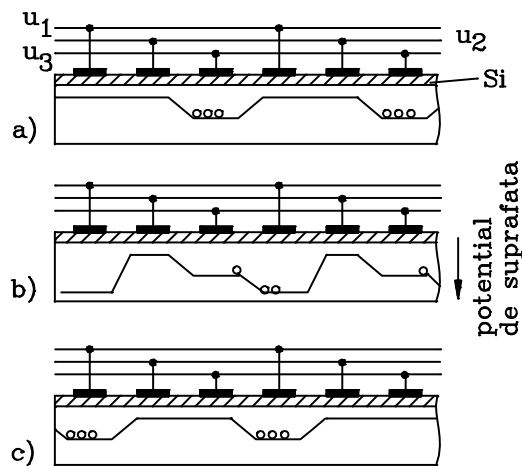


Fig.7.8. Principiul dispozitivelor cuplate prin sarcină (CCD)

Dintre avantajele acestui senzor se pot aminti: reducerea cu un ordin de mărime a masei și gabariturii, rezistența mecanică mare, fiabilitate ridicată, lipsa necesității alimentării cu tensiune înaltă și a încălzirii la incandescență, precizie geometrică deosebită a imaginii video (datorită legăturii rigide a semnalului video de coordonatele elementelor fotosensibile).

În domeniul roboților industriali, senzorii vizuali bazați pe acest principiu sunt fie sub formă liniară, fie sub formă bidimensională.

Dintre parametrii principali ai acestor senzori se pot aminti: domeniul spectral 0.2(0.4)...1,1 nm; fotosensibilitate integrală 500 $\mu A/lx$; rezoluție liniară

40...60 linii/mm; neomogenitate a fotosensibilității până la 10 % [7.4].

7.3.5.2. Senzori vizuali liniari.

Tehnologia CCD comportă un ansamblu de puncte discrete a senzorului vizual. Fiecare punct sensibil = imagine elementară poartă denumirea de *pixel*.

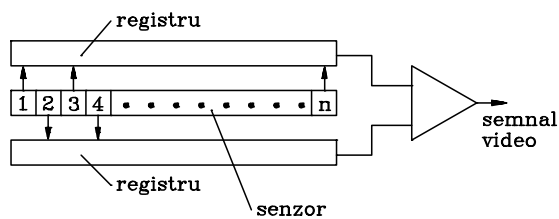


Fig.7.9. Senzor vizual liniar

Construcția unui senzor vizual liniar este prezentată în figura 7.9. Elementele componente sunt următoarele: elementul fotosensibil 1 cu n pixeli și registrele glisante 2, 3.

Senzorii vizuali liniari permit realizarea până la 4095 puncte sensibile (pixel) [7.6]. Numărul maxim de pixeli este determinat de lungimea dispozitivului și dimensiunea fiecărui

punct sensibil. O limită practică a acestui număr este impusă și de ineficiența transferului, caracteristica registrului de citire.

Configurația bilineară prezentată este avantajoasă din punctul de vedere al rezoluției. Funcționarea senzorului cuprinde trei etape:

- în prima etapă fiecare punct sensibil (pixel) acumulează, pe durata "t", o sarcină electrică care este o măsură pentru expunerea punctului respectiv;
- în a doua etapă întreaga sarcină integrată pe fiecare pixel se transferă în paralel în registrele glisante (o celulă de transfer fiecărui pixel)
- în a treia etapă sarcinile celor două registre sunt deplasate alternativ spre ieșire; amplitudinea impulsurilor electrice rezultate sunt o măsură a expunerii pixelului corespunzător.

7.3.5.3. Senzori vizuali bidimensionali.

Senzorul vizual bidimensional este format dintr-un ansamblu de elemente vizuale, liniare dispuse în paralel. Informativ dimensiunea maximă a unui senzor bidimensional corespunde la 700 x 500 elemente (350.000 pixel).

Dispunerea senzorilor liniari și a registrelor de deplasare într-o matrice bidimensională este prezentată în figura 7.10. O asemenea matrice este prevăzută cu circuite de adresare care comută tactul la linia dorită.

O structură care s-a impus în ultimul timp este cea corespunzătoare din figura 7.11 (transfer interlinii).

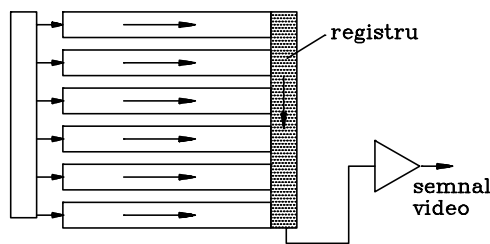


Fig.7.10. Organizarea citirii unui senzor vizual liniar

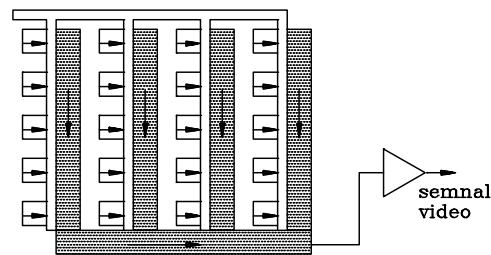


Fig.7.11. Organizarea citirii la un senzor vizual bidimensional

În acest caz, cele două funcțiuni de bază *de captare și memorare* a imaginii, sunt integrate pe aceeași arie și transferul unui cadru are loc într-o singură etapă [7.5].

7.4. Prelucrarea informației senzorului vizual.

7.4.1. Generalități.

Senzorul vizual oferă o serie de informații care reprezintă de fapt traducerea unui fenomen fizic sub diverse forme.

Imaginea astfel obținută, prezentată acum sub forma unui semnal, trebuie în prima fază *tratată* în cadrul unor operații specifice. În acest mod sunt eliminate o serie de aspecte din cadrul semnalului sau altele sunt amplificate. Imaginea astfel obținută poate fi *modelată* în vederea obținerii unor parametri care descriu obiectele cercetate prin intermediul senzorului vizual. Acești parametri permit emiterea unor concluzii privind forma obiectelor, orientarea, poziționarea acestora etc.

7.4.2. Tratarea imaginii.

7.4.2.1. Generalități.

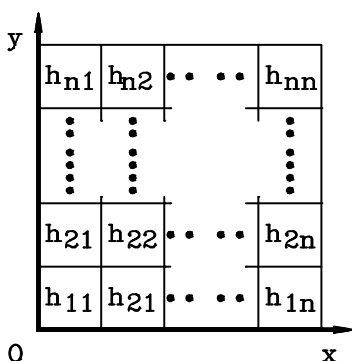


Fig.7.12. Sistemul de coordonate atașat matricii H

Fie suprafața sensibilă a senzorului vizual discretizată în matricea pătrată $H_{n \times n}$ raportată sistemului de axe XOY (fig.7.12). Fiecare element al matricii corespunde unui punct sensibil al senzorului vizual (pixel).

Tratarea imaginii cuprinde operațiile necesare diferențierii unui obiect față de altele sau a acestuia în cadrul scenei analizate.

Două tehnici de tratare sunt frecvent utilizate: *metoda imaginii binare și metoda nivelului de gri.*

7.4.2.2. Metoda imaginii binare.

Metoda imaginii binare este una din metodele cele mai recunoscute de analiză a imaginii. În acest caz imaginea trebuie să prezinte contraste puternice (zone luminoase și zone întunecate) astfel încât zona de diferență a contrastului luminos corespunde conturului piesei.

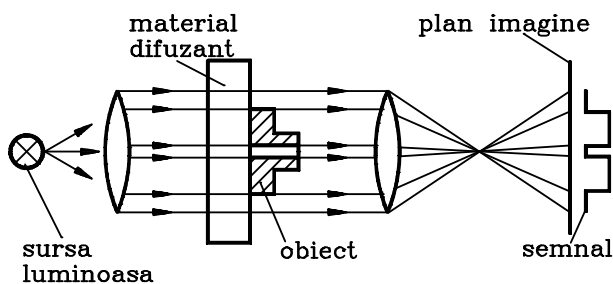


Fig.7.13. Tehnica siluetei

Creșterea contrastelor se poate obține prin tehnica siluetei (se utilizează iluminarea pe un plan - fig.7.13), utilizarea dependenței intensității luminoase de lungimea de undă, iluminarea direcțională (pentru evidențierea reliefului obiectelor) [7.6].

Amplitudinea semnalului de pe fiecare punct sensibil (pixel) se compară cu o valoare de referință. Se stabilește astfel o

dependență logică a diverselor valori ale semnalului. Dacă amplitudinea semnalului este superioară semnalului de referință admis, pixelul se consideră de valoare logică "1" și respectiv valoare "0" în caz contrar (fig.7.14). Imaginea astfel obținută poartă denumirea de imagine binară.

Stabilirea nivelului de referință impune o atenție deosebită. Un nivel de referință arbitrar, nu asigură întotdeauna succesul operației. O serie de parametri legați de mediu, iluminare pot influența negativ această operație.

Trasarea histogramei imaginii este o metodă mai recomandată de stabilire a nivelului de referință (fig.7.15). Pe abscisă se prezintă semnalul video asociat unui pixel iar pe ordonată numărul de pixeli "n" de semnal "i". În acest mod semnalul video poate fi separat în cele două clase logice. În unele cazuri variația semnalului video este lentă. Se pot utiliza în acest caz și

histograme locale. Utilizarea unei metode statistice oferă și un grad de optimizare în ceea ce privește alegerea valorii de referință.

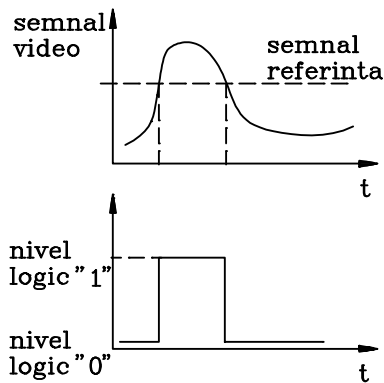


Fig.7.14. Principiul obținerii imaginii binare

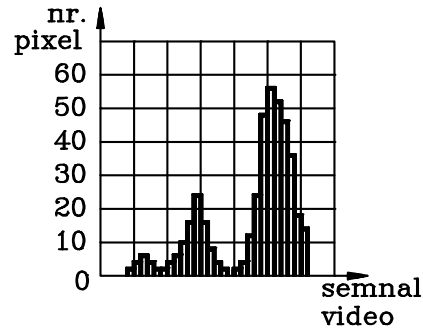


Fig.7.15. Histograma imaginii

Fie o imagine definită prin "L" nivele de gri, "N" numărul total de pixeli și "n_i" numărul de pixeli de semnal "i" [7.6]. Valoarea medie a semnalului este:

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L [i \cdot n(i)] \tag{7.4}$$

Pentru un j ∈ [1,L] se pot calcula :

$$u(j) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^j [i \cdot n(i)] \tag{7.5}$$

$$v(j) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^j n(i) \tag{7.6}$$

Nivelul de referință optim este definit de semnalul "i", pentru care variația între clase este maximă:

$$\sigma^2 = \frac{[S \cdot v(j) - u(j)]^2}{v(j) \cdot [1 - v(j)]} \tag{7.7}$$

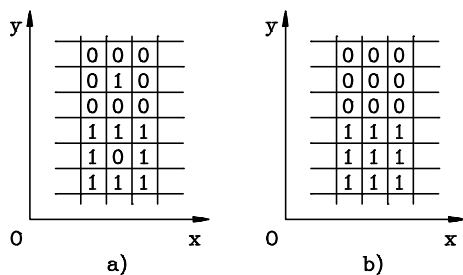


Fig.7.16 Alterarea imaginii (și soluționarea problemei (b))

În final punctele aparținând obiectului vor avea în corespondența imaginii valoarea "1" iar restul valoarea "0".

În unele cazuri imaginea poate fi alterată în unele zone prin apariția unor puncte dispartate.

În aceste cazuri se poate aplica următorul algoritm. Dacă elementul central al unei zone,

constând din 9 pixeli, are o valoare ("0" sau "1") diferită de a celorlalți (fig.7.16a) el își schimbă valoarea inițială cu cea contrarie (fig.7.16b).

7.4.2.3. Metoda nivelului de gri.

Metoda anterioara face apel doar la culoarea albă (nivel logic "1") și culoarea neagră (nivel logic "0"). Lipsa unor nivele intermediare poate conduce la unele deficiențe de stabilire a conturului pieselor.

Metoda nivelului de gri consideră că o imagine întunecată conține pixeli apropiați de valoarea "0" în timp ce a unei imagini luminoase se apropie de "1". Această situație este prezentată în figura 7.17 (i = valoarea unui pixel; $p(i)$ = densitatea de probabilitate a intensității unui pixel).

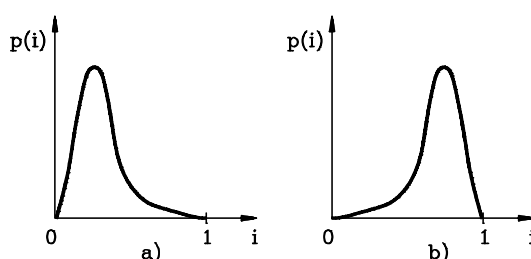


Fig.7.17. Histograma în gri: a) imagine întunecată; b) imagine luminoasă

O primă etapă a tratării semnalului video constă într-o "netezire" a imaginii, adică o eliminare a variațiilor bruște a semnalului. În acest mod, valoarea unui pixel se înlocuiește cu o combinație liniară între valorile acestui pixel și a unui număr oarecare din cele vecine.

Intensitatea atașată unui pixel este "netezită" la o valoare dată de relația [7.6]:

$$i(x, y) = \frac{1}{S} \cdot \sum_{n=y-q}^{y+q} \sum_{m=x-p}^{x+p} i(n, m) \quad (7.8)$$

unde:

- "S" este o suprafață centrată pe pixelul vizat având coordonatele x și y;
- $S = (2p + 1)(2q + 1)$; $2p + 1$ este numărul de pixeli după axa x atașați suprafeței ($p \in \{1, 2\}$); $2q + 1$ este numărul de pixeli după axa y atașați suprafeței ($q \in \{1, 2\}$).

Valorile stabilite pentru "p" și "q" influențează în mod sensibil nivelul final al semnalului inițial. Dacă "S" este mare (deci "p" și "q") "netezirea" poate conduce la dispariția unor detalii pertinente ale imaginii. Dacă "S" este mică, "netezirea" poate fi ineficace.

Semnalul vizual poate fi debarasat de un "zgomot" în urma operației de filtrare. Filtrajul constă practic în modificarea semnalului original prin schimbarea tranziției între zonele clare și cele obscure.

Metoda gradientului constă în înlocuirea intensității fiecărui pixel printr-o valoare dependentă de punctele vecine.

p_{11}	p_{12}	p_{13}
p_{21}	p_{22}	p_{23}
p_{31}	p_{32}	p_{33}

Fig.7.18.
Matricea 3 x 3

Operatorul gradient pe o "fereastră" de 3 x 3 pixeli este una dintre multiplele posibilități (operatorul pe linie, operatorul pe coloane, operatorul Roberts, operatorul Sobel etc [7.6],[7.19], [7.20]).

Fie o fereastră 3 x 3 pixeli în jurul pixelului central și definită printr-o matrice conformă cu figura 7.18. Suma gradientilor ponderați pe linie (" G_x ") sau pe coloană (" G_y ") este descrisă de operatorul matricial [7.6]:

$$G = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 p_{ij} \cdot c_{ij} \quad (7.9)$$

unde " p_{ij} " sunt elementele matricii nivelelor de gri din jurul punctului analizat iar " c_{ij} " sunt elementele matricii de ponderare:

$$C_x = \begin{pmatrix} -a_1 & 0 & a_1 \\ -a_2 & 0 & a_2 \\ -a_3 & 0 & a_3 \end{pmatrix} \quad (7.10)$$

$$C_y = \begin{pmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \\ 0 & 0 & 0 \\ -b_1 & -b_2 & -b_3 \end{pmatrix} \quad (7.11)$$

Sunt prezentate în continuare câteva exemple ale matricilor de ponderare:

- matricea Sobel:

$$C_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7.12a)$$

$$C_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad (7.12b)$$

- matricea Prewitt:

$$C_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7.13a)$$

$$C_y = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (7.13b)$$

Pe baza valorilor ponderate există posibilitatea determinării:

- amplitudinii:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (7.14)$$

- orientării:

$$\theta = \arctg\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (7.15)$$

Unghiul " Θ " indică direcția de variație a nivelului de gri. Utilizând matricile gradientului circular acest calcul poate fi evitat [7.6].

O altă modalitate, de abordare a tratării imaginii, este cea conferită de tehnica tratării unui semnal prin utilizarea transformării Fourier.

Dacă x și y sunt abscisa respectiv ordonata unui semnal $f(x,y)$, transformata Fourier în două dimensiuni este descrisă de relația:

$$\mathfrak{F}(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \cdot e^{-2\pi j \cdot (u_x + v_y)} dx dy \quad (7.16)$$

Correspondența între o funcție $f(x,y)$ și transformata Fourier este sugerată de figura 7.19.

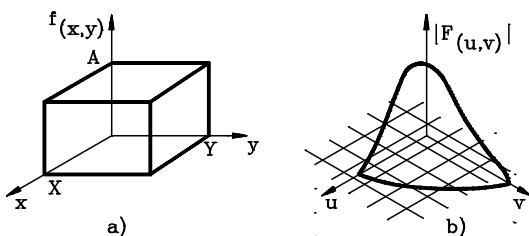


Fig.7.19. O funcție simplă și modulul transformatei Fourier

O noțiune semnificativă, pentru definirea metodei de tratare a imaginii prin transformata Fourier, este produsul de convoluție:

$$g(x, y) = f(x, y) \cdot h(x, y) \quad (7.17)$$

Se demonstrează în teoria prelucrării semnalului că transformata Fourier a unui produs de convoluție este egală cu produsul simplu a transformatei Fourier a celor două funcții:

$$\mathfrak{F}[g(x,y)] = \mathfrak{F}[f(x,y)] \cdot \mathfrak{F}[h(x,y)] \quad (7.18)$$

În figura 7.20 se prezintă principiul de debarasare prin filtrare a unui semnal de un "zgomot" pe baza transformatei Fourier.

Semnalul rezultat în urma filtrării se obține pe baza inversei transformatei Fourier. Alegerea filtrului (passe-haut, passe-bas, passe-bande) este extrem de importantă pentru această etapă.

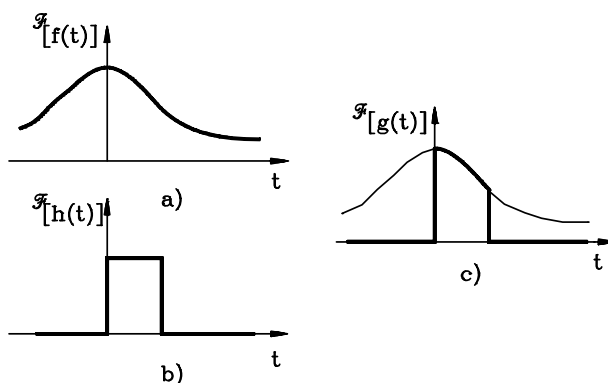


Fig.7.20. Operația de filtrare pe baza transformatei Fourier

histograme locale. Utilizarea unei metode statistice oferă și un grad de optimizare în ceea ce privește alegerea valorii de referință.

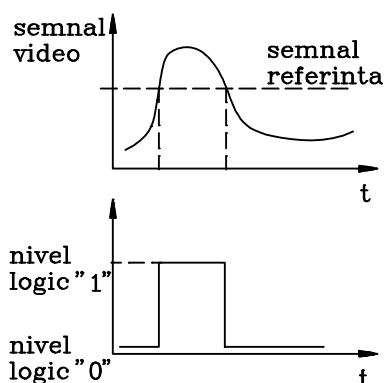


Fig.7.14. Principiul obținerii imaginii binare

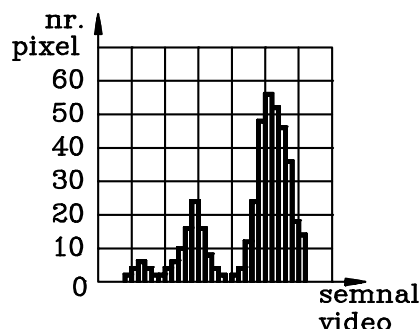


Fig.7.15. Histograma imaginii

Fie o imagine definită prin "L" nivele de gri, "N" numărul total de pixeli și "n_i" numărul de pixeli de semnal "i" [7.6]. Valoarea medie a semnalului este:

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L [i \cdot n(i)] \tag{7.4}$$

Pentru un j ∈ [1,L] se pot calcula :

$$u(j) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^j [i \cdot n(i)] \tag{7.5}$$

$$v(j) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^j n(i) \tag{7.6}$$

Nivelul de referință optim este definit de semnalul "i", pentru care variația între clase este maximă:

$$\sigma^2 = \frac{[S \cdot v(j) - u(j)]^2}{v(j) \cdot [1 - v(j)]} \tag{7.7}$$

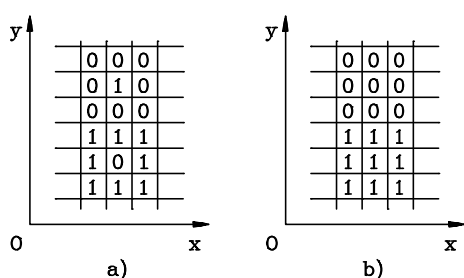


Fig.7.16 Alterarea imaginii (și soluționarea problemei (b))

În final punctele aparținând obiectului vor avea în corespondența imaginii valoarea "1" iar restul valoarea "0".

În unele cazuri imaginea poate fi alterată în unele zone prin apariția unor puncte dispartate.

În aceste cazuri se poate aplica următorul algoritm. Dacă elementul central al unei zone,

constând din 9 pixeli, are o valoare ("0" sau "1") diferită de a celorlalți (fig.7.16a) el își schimbă valoarea inițială cu cea contrarie (fig.7.16b).

7.4.2.3. Metoda nivelului de gri.

Metoda anterioară face apel doar la culoarea albă (nivel logic "1") și culoarea neagră (nivel logic "0"). Lipsa unor nivele intermediare poate conduce la unele deficiențe de stabilire a conturului pieselor.

Metoda nivelului de gri consideră că o imagine întunecată conține pixeli apropiați de valoarea "0" în timp ce a unei imagini luminoase se apropie de "1". Această situație este prezentată în figura 7.17 (i = valoarea unui pixel; $p(i)$ = densitatea de probabilitate a intensității unui pixel).

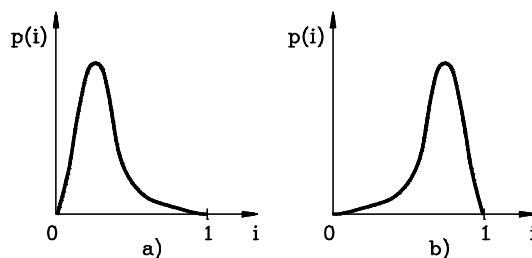


Fig.7.17. Histograma în gri: a) imagine întunecată; b) imagine luminoasă

O primă etapă a tratării semnalului video constă într-o "netezire" a imaginii, adică o eliminare a variațiilor bruște a semnalului. În acest mod, valoarea unui pixel se înlocuiește cu o combinație liniară între valorile acestui pixel și a unui număr oarecare din cele vecine.

Intensitatea atașată unui pixel este "netezită" la o valoare dată de relația [7.6]:

$$i(x, y) = \frac{1}{S} \cdot \sum_{n=y-q}^{y+q} \sum_{m=x-p}^{x+p} i(n, m) \quad (7.8)$$

unde:

- "S" este o suprafață centrată pe pixelul vizat având coordonatele x și y;
- $S = (2p + 1)(2q + 1)$; $2p + 1$ este numărul de pixeli după axa x atașați suprafeței ($p \in \{1, 2\}$); $2q + 1$ este numărul de pixeli după axa y atașați suprafeței ($q \in \{1, 2\}$).

Valorile stabilite pentru "p" și "q" influențează în mod sensibil nivelul final al semnalului inițial. Dacă "S" este mare (deci "p" și "q") "netezirea" poate conduce la dispariția unor detalii pertinente ale imaginii. Dacă "S" este mică, "netezirea" poate fi ineficace.

Semnalul vizual poate fi debarasat de un "zgomot" în urma operației de filtrare. Filtrajul constă practic în modificarea semnalului original prin schimbarea tranziției între zonele clare și cele obscure.

Metoda gradientului constă în înlocuirea intensității fiecărui pixel printr-o valoare dependentă de punctele vecine.

p_{11}	p_{12}	p_{13}
p_{21}	p_{22}	p_{23}
p_{31}	p_{32}	p_{33}

Fig.7.18.
Matricea 3 x 3

Operatorul gradient pe o "fereastră" de 3 x 3 pixeli este una dintre multiplele posibilități (operatorul pe linie, operatorul pe coloane, operatorul Roberts, operatorul Sobel etc [7.6],[7.19], [7.20]).

Fie o fereastră 3 x 3 pixeli în jurul pixelului central și definită printr-o matrice conformă cu figura 7.18. Suma gradientilor ponderați pe linie (" G_x ") sau pe coloană (" G_y ") este descrisă de operatorul matricial [7.6]:

$$G = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 p_{ij} \cdot c_{ij} \quad (7.9)$$

unde " p_{ij} " sunt elementele matricii nivelelor de gri din jurul punctului analizat iar " c_{ij} " sunt elementele matricii de pondere:

$$C_x = \begin{pmatrix} -a_1 & 0 & a_1 \\ -a_2 & 0 & a_2 \\ -a_3 & 0 & a_3 \end{pmatrix} \quad (7.10)$$

$$C_y = \begin{pmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \\ 0 & 0 & 0 \\ -b_1 & -b_2 & -b_3 \end{pmatrix} \quad (7.11)$$

Sunt prezentate în continuare câteva exemple ale matricilor de pondere:

- matricea Sobel:

$$C_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7.12a)$$

$$C_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad (7.12b)$$

- matricea Prewitt:

$$C_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7.13a)$$

$$C_y = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (7.13b)$$

Pe baza valorilor ponderate există posibilitatea determinării:

- amplitudinii:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (7.14)$$

- orientării:

$$\theta = \arctg\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (7.15)$$

Unghiul " Θ " indică direcția de variație a nivelului de gri. Utilizând matricile gradientului circular acest calcul poate fi evitat [7.6].

O altă modalitate, de abordare a tratării imaginii, este cea conferită de tehnica tratării unui semnal prin utilizarea transformării Fourier.

Dacă x și y sunt abscisa respectiv ordonata unui semnal $f(x,y)$, transformata Fourier în două dimensiuni este descrisă de relația:

$$\mathfrak{F}(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \cdot e^{-2\pi j \cdot (u_x + v_y)} dx dy \quad (7.16)$$

Correspondența între o funcție $f(x,y)$ și transformata Fourier este sugerată de figura 7.19.

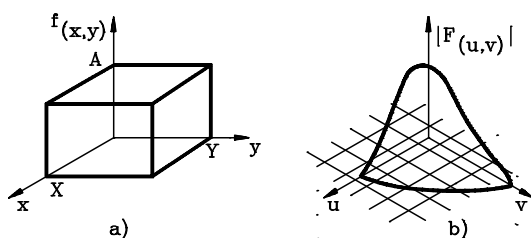


Fig.7.19. O funcție simplă și modulul transformatei Fourier

O noțiune semnificativă, pentru definirea metodei de tratare a imaginii prin transformata Fourier, este produsul de convoluție:

$$g(x, y) = f(x, y) \cdot h(x, y) \quad (7.17)$$

Se demonstrează în teoria prelucrării semnalului că transformata Fourier a unui produs de convoluție este egală cu produsul simplu a transformatei Fourier a celor două funcții:

$$\mathfrak{F}[g(x,y)] = \mathfrak{F}[f(x,y)] \cdot \mathfrak{F}[h(x,y)] \quad (7.18)$$

În figura 7.20 se prezintă principiul de debarasare prin filtrare a unui semnal de un "zgomot" pe baza transformatei Fourier.

Semnalul rezultat în urma filtrării se obține pe baza inversei transformatei Fourier. Alegerea filtrului (passe-haut, passe-bas, passe-bande) este extrem de importantă pentru această etapă.

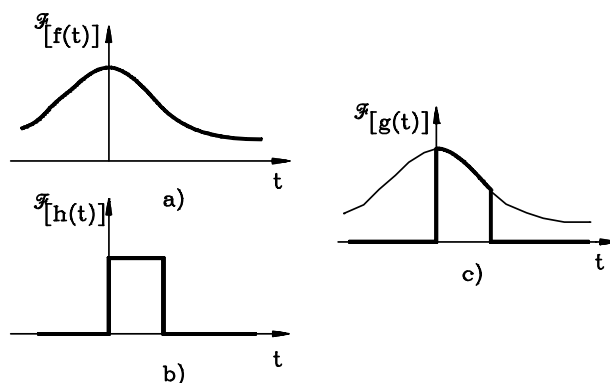


Fig.7.20. Operația de filtrare pe baza transformatei Fourier

7.4.2.3 Concluzie

O imagine tratată (în final debarasată de orice "zgomot") a fost redusă la o cantitate de informație - binară sau nivel de gri - privind starea fiecărui pixel. Această informație trebuie prelucrată în continuare în vederea obținerii unor precizări suplimentare care să permită modelarea matematică a imaginii.

7.5 Segmentarea imaginii

7.5.1 Generalități

Segmentarea imaginii este operația de extragere teoretică (separare) a unor *zone particulare* din imaginea tratată anterior. Pixelii aparținători acestor zone au *o proprietate comună* (de ex. aparțin la obiectul vizualizat).

În mod curent se aplică două metode:

- extragerea conturului* - se separă toți pixelii cuprinși în interiorul unor linii cu contrast puternic;
- topologia zonelor* - se separă toți pixelii dintr-o zonă care respectă o aceeași stare logică.

7.5.2. Extragerea conturului

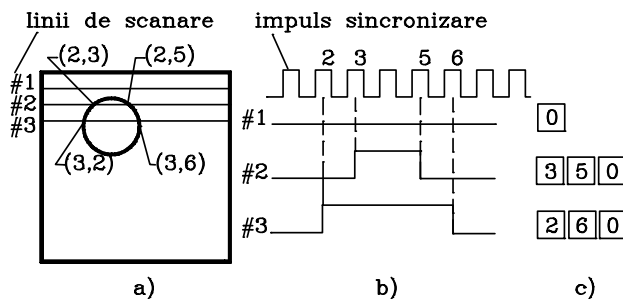


Fig.7.21 Extragerea conturului: a - scanarea imaginii; b - semnal video; c - informație memorată

Operația de filtrare a asigurat condițiile de determinare a limitelor imaginii. *Extragerea conturului* presupune *definirea limitelor imaginii* unui obiect vizualizat în scopul stocării acestei informații în memoria sistemului de comandă. Adeseori determinarea acestor limite are loc simultan cu memorarea informației. În figura 7.21 se prezintă procesul de definire a granițelor unei

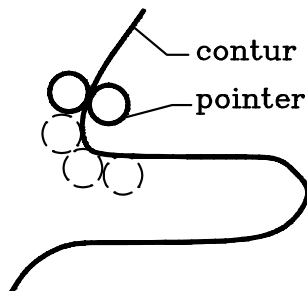


Fig.7.22 Extragerea conturului la piese complexe

imagini circulare și datele memorate. Sunt reprezentate comparativ trei semnale video rezultate în urma scanării imaginii. Aceste semnale sunt raportate semnalului de sincronizare. În urma acestei corespondențe se obțin datele de memorat (fig.7.21c).

Pentru corpuri complexe vizualizate s-a impus o metodă de analiză care să permită detalierea precisă a conturului. Această metodă constă în utilizarea a două "zone" de control care se deplasează pe limita internă și externă a conturului teoretic (fig.7.22). Limita reală a conturului este

descrișă de locul geometric al distanței minime dintre centrele celor două "zone".

7.5.3 Topologia zonelor

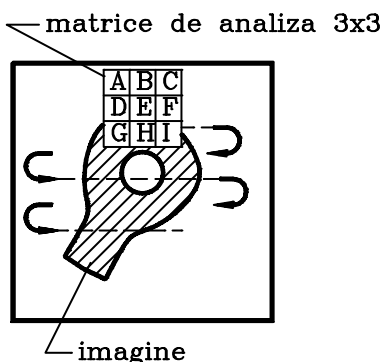


Fig.7.23. Imagine vizualizata si matricea de analiza

Metoda constă în analizarea imaginii și definirea limitelor imaginii (a conturului) prin stabilirea zonelor cu pixeli de o aceeași stare logică.

Una din posibilități se bazează pe considerarea unei matrici 3 x 3 de analiză (fig.7.23). Sunt analizate, în raport cu pixelul central, cele 8 posibilități de conexiune. Separarea punctelor din contur pentru o imagine "binară" se poate realiza pe baza operatorului exprimat prin relația [7.13]:

$$k(x, y) = \bigcup_{n=1}^4 [I_n(x, y) \cup K_n(x, y)] \quad (7.19)$$

unde simbolul "U" semnifică suma logică iar funcțiile $I_{n(x,y)}$, $K_{n(x,y)}$ sunt prezentate în figura 7.24

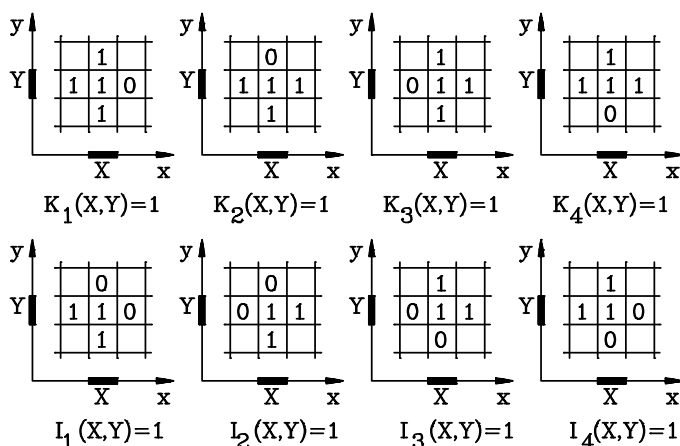


Fig.7.24 Funcțiile logice I_n, K_n

a_3	a_2	a_1
a_4	a_0	

Fig.7.25 Matrice de analiză

O altă posibilitate de analiză are la bază conexiunile celor 4 pixeli vecini (lui "a₀") (fig.7.25) prin aplicarea regulilor:

• dacă:

$$a_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot a_4 = 1 \quad (7.20a)$$

urmează o nouă zonă.

• dacă:

$$a_0 \cdot a_2 = 1 \quad (7.20b)$$

"a₀" aparține la aceeași zonă ca și "a₂";

- dacă:

$$a_0 \cdot \overline{a_2} = (a_1 + a_4) \cdot \overline{a_3} \tag{7.20c}$$

atunci "a₀" aparține zonei lui "a₁" sau "a₄";

- dacă

$$a_0 \cdot \overline{a_2} = (\overline{a_1} \cdot \overline{a_4}) \cdot a_3 \tag{7.20d}$$

atunci "a₀" aparține la aceeași zonă ca și "a₃".

7.6 Codificarea imaginii

Informația, privind imaginea obiectului vizualizat, se poate utiliza practic dacă prelucrarea sa se face în timp real și dacă canalul de transmitere a informației (spre sistemul de comandă) permite acest lucru. În acest sens, se impune să se utilizeze acele metode de codificare a imaginii care să necesite cel mai mic volum de informație.

În figura 7.21 arătam procesul de definire a granițelor unei imagini și datele memorate. În acest caz prima din coordonatele punctului de graniță poate fi numărul liniei de scanare, iar a doua numărul impulsului de sincronizare de la începutul scanării până la apariția semnalului video (granița stângă) sau până la sfârșitul videosemnalului (granița dreapta). În acest mod se face economie de memorie fără a se obține un câștig important de timp [7.21].

Economie de memorie și timp de lucru (în prelucrarea ulterioară a informației) se obține codificând conturul imaginii. În acest mod se "leagă" printr-o linie teoretică toți pixelii

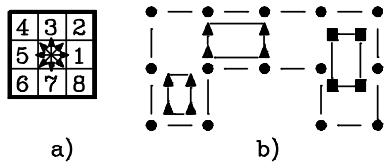


Fig.7.26 Exemplu de codificare:

a) – codul Freeman; b) - contururi tratate

de aceeași valoare. Fiecare contur este astfel complet determinat prin specificarea nivelului de gri, localizarea unui pixel pe contur și o secvență de urmărire a conturului. Una din posibilitățile de descriere este conferită de codul Freeman. Acest cod definește 8 direcții posibile de deplasare pe contur, conform matricii șablon prezentate în figura 7.26.

Procesul de deplasare a șablonului la generarea codului Freeman pentru conturul exterior, respectiv interior și pixelii de pornire se prezintă în figura 7.27. Cele două coduri sunt:

- contur exterior: 66577718111111133333555545

- contur interior: 7771111133355555

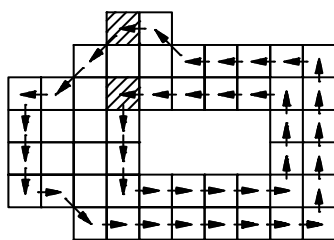


Fig.7.27 Procesul de generare a codului

7.7 Modelarea imaginii

Imaginea obținută în etapele anterioare este pregătită pentru determinarea unor parametri cantitativi care o caracterizează.

Reprezentăm imaginea obținută sub forma unei matrici pătrate H_{n x n} raportată sistemului de coordonate XOY (fig.7.28).

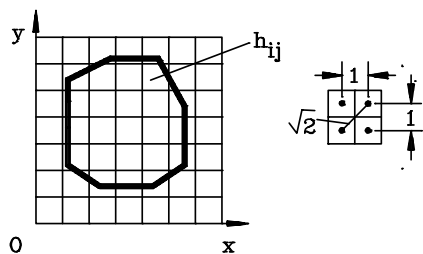


Fig.7.28. Determinarea parametrilor geometrici ai imaginii

Pentru simplificare considerăm tratarea binară a imaginii:

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{daca } (i, j) \in \text{obiect} \\ 0, & \text{daca } (i, j) \notin \text{obiect} \end{cases} \quad (7.21)$$

unde $(i = 1, 2, \dots, n-1 \text{ și } j = 1, 2, \dots, n-1)$.

Distanța dintre doi pixeli vecini (cele trei cazuri este prezentată în figura 7.28).

Aria imaginii vizualizate este definită prin relația:

$$A = \sum_{i=0}^{n-1} \left(\sum_{j=0}^{n-1} h_{ij} \right) \quad (7.22)$$

Perimetrul conturului (Γ) al imaginii se determină pe baza codului care descrie acest contur. Fie "m" una din cifrele codului ($m = 1, 2, \dots, 8$) (codul Freeman). Perimetrul este :

$$P = \sum_{(\Gamma)} m' \quad \text{unde } m' = \begin{cases} 1, & \text{daca } m \text{ este numar impar} \\ \sqrt{2}, & \text{daca } m \text{ este numar par} \end{cases} \quad (7.23)$$

Coordonatele centrului de greutate (X_s, Y_s) al suprafeței delimitate de contur sunt:

$$X_s = \frac{1}{A} \cdot \sum_{j=0}^{n-1} \left(\sum_{i=0}^{n-1} i \cdot h_{ij} \right) \quad (7.24a)$$

$$Y_s = \frac{1}{A} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \left(\sum_{j=0}^{n-1} j \cdot h_{ij} \right) \quad (7.24b)$$

Momentele de inerție axiale ale suprafeței (față de axele Ox, Oy) și momentul de inerție centrifugal se pot calcula cu ajutorul relațiilor:

$$J_x = \sum_{i=0}^{n-1} i^2 \left(\sum_{j=0}^{n-1} h_{ij} \right) \quad (7.25a)$$

$$J_y = \sum_{j=0}^{n-1} j^2 \left(\sum_{i=0}^{n-1} h_{ij} \right) \quad (7.25b)$$

$$J_{xy} = \sum_{i=0}^{n-1} i \left(\sum_{j=0}^{n-1} j \cdot h_{ij} \right) \quad (7.25c)$$

Pe baza parametrilor determinați anterior, se poate calcula unghiul " α " dintre axa principală de inerție " I " și axa Ox :

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \arctg \left(\frac{2 J_{xy}}{J_y - J_x} \right) \quad (7.26)$$

Momentele de inerție principale J_1, J_2 se pot calcula pe baza momentelor de inerție axiale și ale celui centrifugal:

$$J_{1,2} = \frac{I}{2} \cdot (J_x + J_y) \pm \sqrt{\frac{I}{4} \cdot (J_x - J_y)^2 + J_{xy}^2} \quad (7.27)$$

Pe lângă parametri evidențiați anterior, există posibilitatea determinării și a altora, astfel încât obiectul vizualizat să fie caracterizat cât mai complex. Se pot aminti (fig.7.29): poligonul circumscris (fig.7.29a), raza maximă și cea minimă (R_{max}, R_{min}) (fig.7.29b). Prin aceasta se pot evita măsurări greșite, cauzate de murdărie, lumină parazită etc. Opțional se mai pot calcula [7.10]:

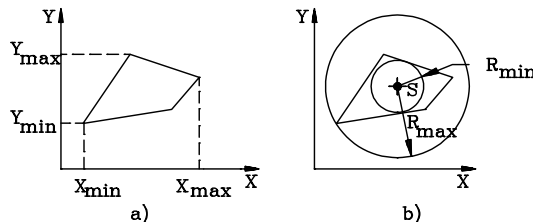


Fig.7.29 Parametrii caracteristici (poligon circumscris, raze)

- raportul Y_{max} / X_{max} dintre dimensiunile de gabarit pe direcție verticală și orizontală;
- complexitatea conturului X_{max}/P ;
- compactitatea figurii: $A/(X_{max}Y_{max})$;
- simetria $X_s/X_{max}, Y_s/Y_{max}$.

Acești parametri (sau o parte dintre ace aceștia) sunt comparați după evaluare cu cei ai pieselor "învățate". În urma acestor comparații se emite decizia privind recunoașterea piesei analizate.

Figura 7.30 prezintă sistemul de coordonate, un obiect în poziția de referință (învățare) și într-o poziție oarecare de măsurare.

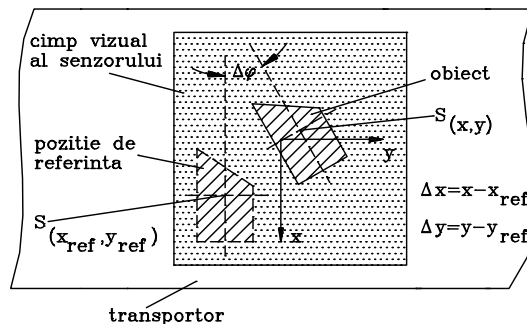


Fig.7.30 Operația de determinare a unor parametri

Punctul de referință al piesei este centrul de greutate al proiecției. După recunoaștere, sunt transmise spre robotul industrial coordonatele $\Delta x, \Delta y$ în raport cu poziția de referință "învățată".

Caracteristicile de identificare a unei piese rezultă din:

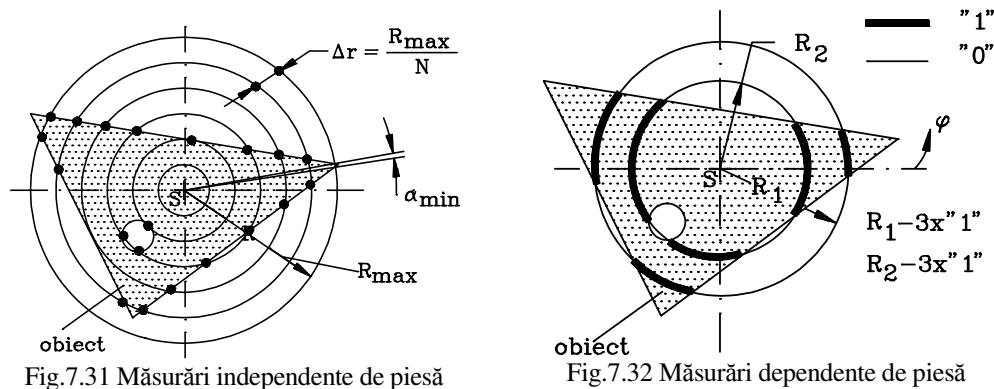
- măsurări independente de piesa vizualizată;
- măsurări dependente de piesă.

În cadrul măsurărilor independente (parametrii indicați anterior, suprafețe, perimetru, coordonatele centrului de

greutate etc.) una din posibilitățile de explorare a imaginii este cea polară. Explorarea în coordonate polare constă în intersecția conturului imaginii cu un număr de cercuri echidistante având centrul în centrul de greutate al imaginii (fig.7.31).

În acest mod se pot determina suplimentar o serie de parametri: numărul segmentelor de intersecție ale conturului cu cercurile de explorare, unghiul α_{min} pentru raza maximă.

Măsurările dependente de piesă sunt acelea care au fost alese în mod special pentru piesa analizată. Parametrii vizați se referă la caracteristicile de pe anumite cercuri (fig.7.32).



Acești parametri sunt memorați în faza de "învățare" sub numărul fixat al obiectului vizualizat. De exemplu (fig. 7.32):

- funcții înregistrate pe cercul de rază R_1 și $R_2 - 3 * "1"$
- corelația dintre unghiul Φ și raza R .

În vederea separării obiectelor sesizate, este necesară existența controlului asupra câmpului imagine. În acest sens, cadrul vizual al senzorului se poate delimita electronic la un cadru variabil. După ce un obiect a intrat complet în câmpul vizual, este deplasată marginea cadrului părăsit (fig. 7.33) [7.22].

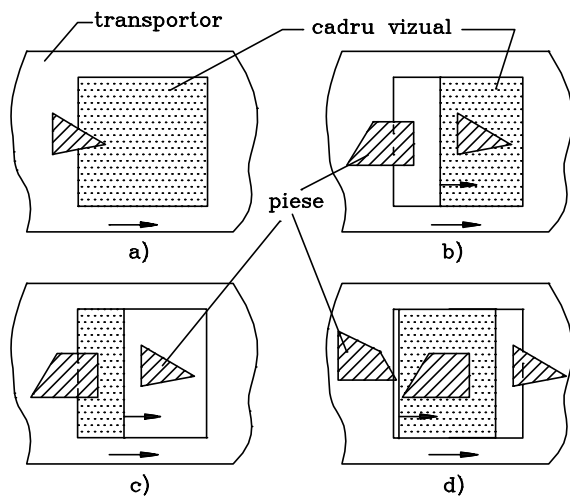


Fig. 7.33. Controlul câmpului vizual

În acest mod pot fi analizate imagini ale unor obiecte apropiate unele de altele. Piese alăturate sau suprapuse (intrate în mod neorientat în sistem) sunt în general separate pe cale mecanică.

Un factor important în analiza imaginilor vizualizate îl constituie modul de iluminare al scenei.

7.8 Iluminarea obiectului vizualizat

În scopul facilității prelucrării imaginii se folosesc diverse metode de iluminare specială.

Corpurile de iluminat cele mai răspândite în acest domeniu sunt grupate în mod sugestiv în figura 7.34: suprafețe difuze (fig. 7.34a)

(lămpi fluorescente - fig. 7.34b, reflectoare difuze), condensoare (fig. 7.34c), proiectoare (fig. 7.34d), colimatoare (fig. 7.34e) [7.23].

În figura 7.35 se prezintă metoda iluminării frontale.

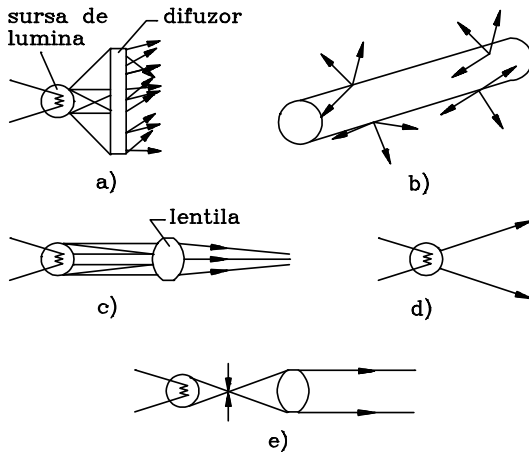


Fig.7.34 Corpuri de iluminat

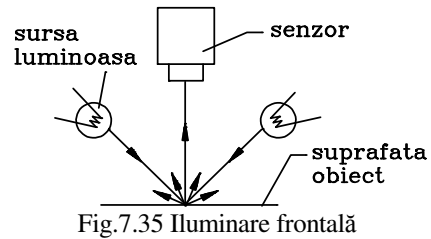


Fig.7.35 Iluminare frontală

Această tehnică este recomandată pentru obținerea unor trăsături puternic contrastante.

În figura 7.36 se obține o imagine în câmp întunecat. Această metodă este recomandată pentru recunoașterea defectelor. Fondul ar trebui să apară total întunecat, defectele creând singurele schimbări de amplitudine.

Obținerea unei imagini în câmp luminos este prezentată în figura 7.37. Metoda este recomandată pentru recunoașterea defectelor de suprafață. Uniformitatea iluminării este extrem de importantă pentru această metodă. Variația de amplitudine sugerează existența unui defect.

Pentru obiecte dificil de iluminat (datorită gabariturii) se pot utiliza metodele prezentate în figura 7.38 și figura 7.39. În primul caz, sistemul optic utilizează o prismă optică divizoare. În cel de-al doilea caz (tehnică mult mai eficientă din punctul de vedere al iluminării) sistemul optic utilizează două

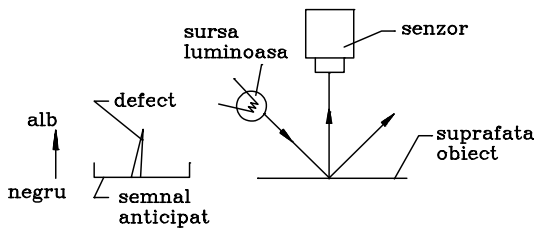


Fig.7.36. Imagine in cimp intunecat

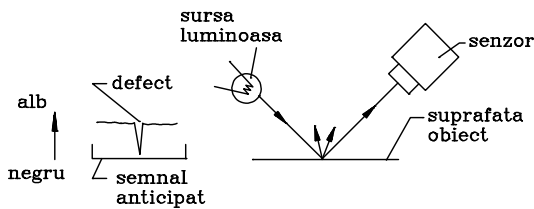


Fig.7.37 Imagine în câmp luminos

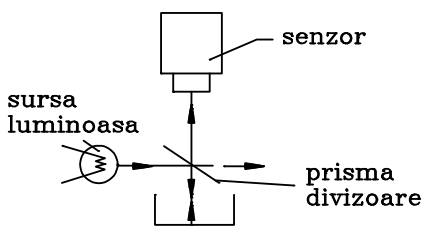


Fig.7.38 Iluminare prin prisma divizoare

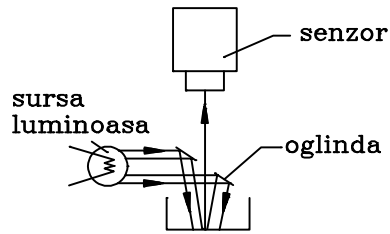


Fig.7.39 Iluminare cu ajutorul oglinzii reflectoare

oglinzi pentru reflexia razelor luminoase de la sursă spre obiect.

Pentru evidențierea mai precisă a elementelor în relief (concavități și convexități) se utilizează metoda următoare ("structurată") prezentată în figura 7.40.

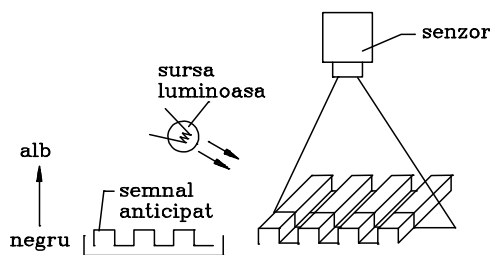


Fig.7.40 Iluminare paralelă

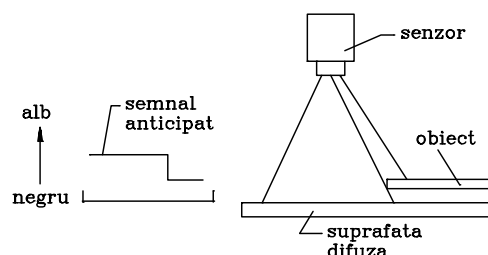


Fig.7.41 Metoda de iluminare din spate

Inspectarea caracteristicilor de siluetă este posibilă printr-o iluminare ca în figura 7.41 (imagine neagră – în umbră).

Utilizarea, pentru iluminarea obiectului, a unui sistem optic bazat pe o suprafață reflectoare și o oglindă este prezentată în figura 7.42.

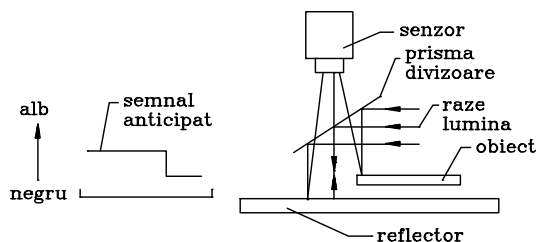


Fig.7.42 Utilizarea unei suprafețe reflectorizante

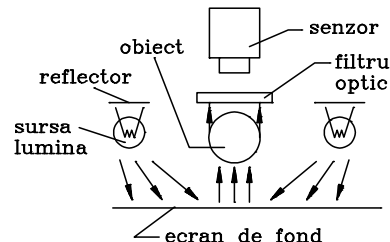


Fig.7.43 Iluminare monocromatică

În fig.7.43 se dă un exemplu de folosire a iluminării monocromatice pentru obținerea unei imagini de calitate a obiectelor în condițiile unei iluminări de fond intense. Se poate folosi o sursă de lumină monocromatică cu lungimea de undă acordată cu caracteristica spectrală a senzorului. În fața senzorului se montează un filtru optic cu bandă îngustă corespunzător cu lungimea de undă de lucru. Această metodă permite reducerea influențelor perturbatoare a surselor de lumină străine.

Realizarea unei iluminări prin utilizarea unui condensor și semnalul anticipat sunt prezentate în figura 7.44. Conul de lumină trebuie să fie mai larg decât dimensiunea transversală a obiectului. Metoda este foarte eficientă și produce contraste puternice.

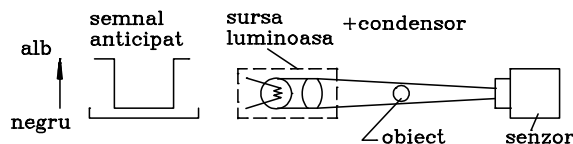


Fig.7.44. Utilizarea condensului

Utilizarea unui colimator în procesul de iluminare este prezentată în figura 7.45.

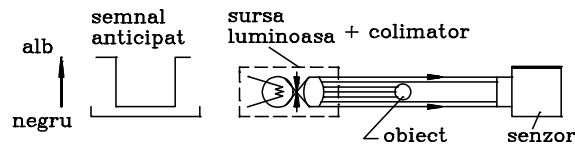


Fig.7.45 Utilizarea colimatorului

O importanță deosebită în problema iluminării o prezintă și locul de amplasare al senzorului vizual.

Cea mai simplă metodă este plasarea fixă a senzorului vizual deasupra scenei de lucru prin utilizarea unui suport adecvat.

Senzorul vizual se poate monta pe efectorul robotului industrial (metoda cu "ochi de mână"). Utilizarea acestei metode pentru un robot industrial de sudură este ilustrată în figura 7.46a. În figura 7.46b senzorul vizual este amplasat pe o structură suplimentară a robotului industrial. Montarea senzorului vizual pe un suport mobil este sugerată prin figura 7.46c.

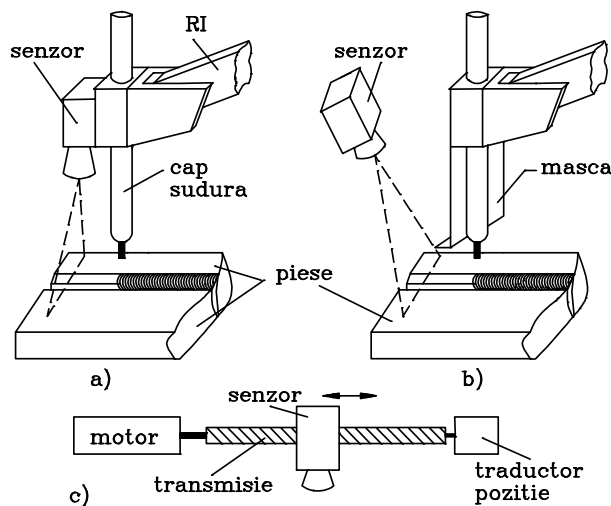


Fig.7.46 Poziționarea senzorului vizual

În fig.7.47 se prezintă construcția unui senzor vizual (inclusiv sursa de lumină) într-o structură compactă, pentru un robot industrial de sudură [7.24].

Sursa de lumină "1" (laser - puterea 20 mW) emite o rază de lumină (lungimea de undă 830 nm) spre oglindă "2". După reflexii succesive pe oglinda "3" (are posibilitatea unei rotații), oglinda "4", piesele "8" și oglinda "5", raza de lumină este recepționată de senzorul vizual "7" (matrice CCD). Prin intermediul filtrului "6" se asigură recepția doar a luminii cu lungimea de undă dorită. Câmpul vizual al senzorului vizual este 70 mm x 70 mm, la un gabarit de 60 x 60 x 100 mm și o greutate de 800 g. Structura compactă este montată direct pe efectorul robotului industrial de sudură.

Numărul senzorilor vizuali poate fi suplimentat (2-3), în vederea obținerii unei imagini adecvate sau în volum a scenei.

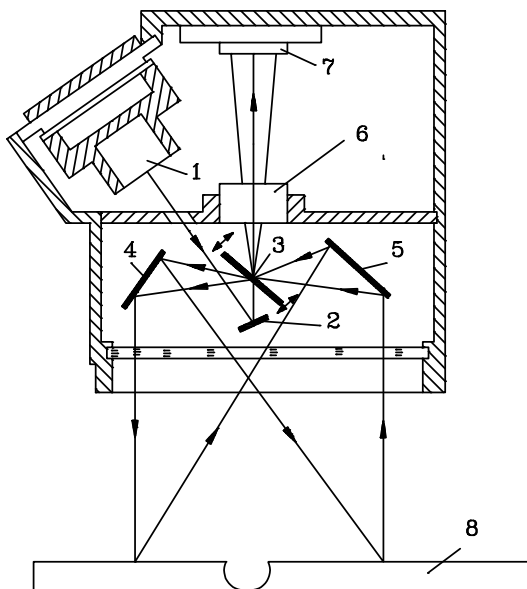


Fig.7.47 Sursa de lumină și senzorul vizual în structură compactă

7.9. Concluzii.

Sintetizând cele expuse în acest capitol, schema bloc a senzorului vizual, în sistemul informațional are schema bloc prezentată în figura 7.48.

Calitatea informației obținute este condiționată de caracteristicile elementelor componente, de modul de iluminare, de analiza corectă și atentă a problemei în faza de proiect.

Se pot enunța următoarele cerințe principale pentru un senzor vizual:

- simplitate în deservire;
- viteză mare de prelucrare a informației;
- flexibilitate, adică posibilitatea de adaptare la diferite sarcini (de ex. regim de bandă rulantă, descărcarea paletelor, controlul pieselor etc.);
- sensibilitate geometrică cât mai mare;

- cost redus;
- posibilități simple de conectare în cadrul sistemului;
- siguranță ridicată în funcționare;
- sensibilitate redusă la factori perturbatori.

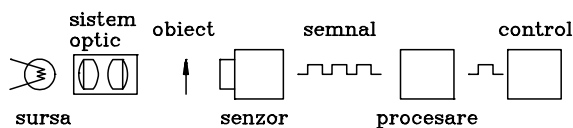


Fig.7.48 Schema bloc a senzorului vizual în sistemul informațional

Bibliografie cap.7

- [7.1] Ferreti, M.-Les yeux des robots, "Sciences et technique", nr.1, fevr.1984, p.34-45
 [7.2] Heginbotham, W.B.-An assessment of proprietary vision systems in relation to practical production engineering applications, (-)
 [7.3] Richards, C.J.-Sisteme de afișare și transmisie electronică a datelor, Ed. Tehnică, București, 1979.
 [7.4] ****-Mijloace de orientare a roboților industriali. Sisteme de senzori, Oficiu de informare documentară, București, 1988

- [7.5] Dragu, I., s.a. Dispozitive videocaptoare și videoreproductoare, Ed. Tehnică, București, 1979
- [7.6] Pruski, A.-Robotique generale, Editura Marketing, Paris, 1988
- [7.7] Schaumburg, H.-Sensoren, B.G.Teubner, Stuttgart, 1992
- [7.8] Bogelsack, G.,s.a.-Roboter in der geratetechnik, Verlag Technik Berlin, 1984
- [7.9] Jabotinskii, Iu.D., s.a.- Adaptivnîe promîșlennîe robotî s beskontaktnîmi sensornîmi sistemami, "Zarubejnaia radioelektronika", nr.11, 1983, p.86-93
- [7.10] Jabotinskii, Iu.D.,s.a.-Adaptivnîe promîșlennîe robotî i ih primeneniie v mikroelektronike, "Radio i sviazi", Moskva, 1985
- [7.11] Martini, P.,s.a.-Recognition of angular orientation of objects with the help of optical sensors, "Industrial Robot", june 1979, p.62-69
- [7.12] Bârsan, M.R.- Dispozitive și circuite integrate cu transfer de sarcină, Ed.Tehnică, București, 1981
- [7.13] Wojcik, Z.M. - Method of contour recognition, "Digital System for Industrial Automation", 1983, nr.1, p.63-83
- [7.14] Chekroun, D.-La vision artificielle (partea a II-a), "Le Nouvel Automatique", jan.-fev. 1985, p.45-51
- [7.15] Bartlau, P., s.a. - Vision system to identify car body types for a spray poiting robot, "Proc.3rd Ind.Conf. Robot Vis.Sens., 1983, Cambridge USA", IFS Publ., p.517-522
- [7.16] Schweizer, M., s.a.- Sensor controlled industrial robots, în "Seminar on development and use of industrial handling equipment", Sofia, 1979
- [7.17] Agiu, J.G.-Robot time control of a robot with a mobile camera, "9th Inter.Symp. on Ind.Robots, Washington, 1979", (SRI International note 179)
- [7.18] Longford, A.H., s.a.-Intelligent vision for industrial control, "Sensor Review", nr.1, 1981, p.8-14
- [7.19] Masaki, I.-Development of a computer dedicated to visual recognition, "Robot", nr.49, 1985, p.117
- [7.20] Popov, E.E.-Sistemi ociuvstvlenia i adaptivnîe promîșlennîe robotî, Mașinostroenie, Moskva, 1985
- [7.21] Matsuda, F., s.a.-A method of generating quickly Freeman chain code from edge coordinates using connecting types of segments, în "EI-Robototehnica", nr.36, 1987, p.5-9
- [7.22] Warnecke, H.J.-Sensoren zur objekterkennung in handhabungssystemen, Krausskopf Verlag, Mainz, 1979
- [7.23] Schroeder, H.E.- Practical illumination concept and technique for machine vision applications, în "Alan Pugh - Robot Sensors. Vision, vol.1", p.225 - 244, IFS Ltd.
- [7.24] Begin, G., s.a.-Third generation adaptive robotic arc welding unit, "IFAC Symp. Robot Contr., Barcelona, 1985", p.461- 462, Barcelona, 1985