

## BAZELE ROBOTICII

### 1. Ce este spațiul de lucru al unui robot? Desenați spațiul de lucru al unui robot TR.

Spațiul de lucru al robotului este entitatea geometrică care conține mulțimea pozițiilor posibile ale punctului caracteristic al robotului (TCP). În funcție de numărul cuplelor cinematice conducătoare, spațiul de lucru poate fi o dreaptă, o suprafață, un volum.

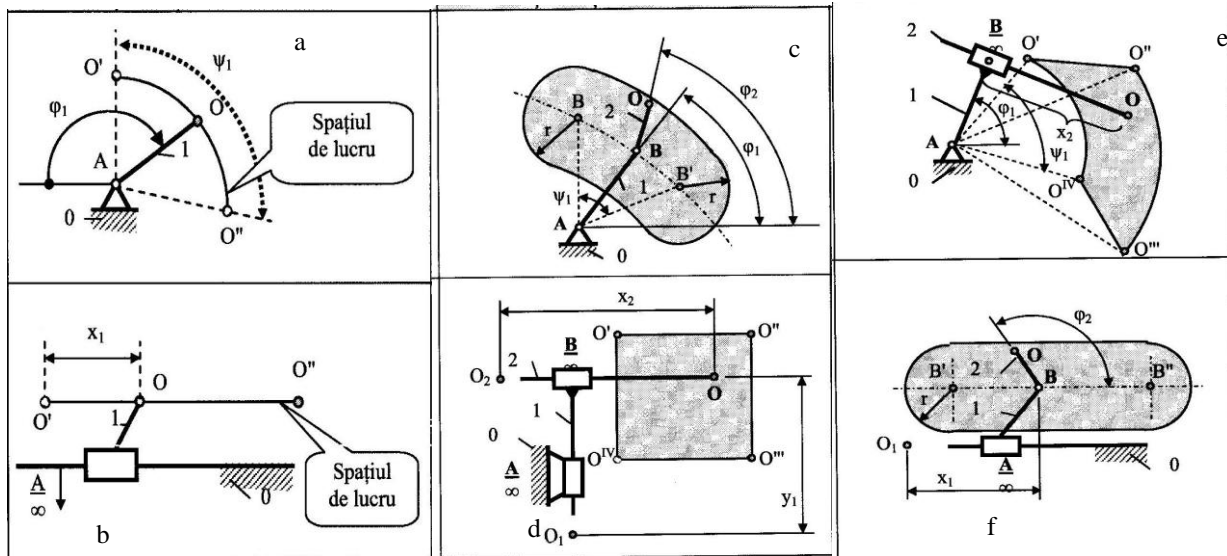


Figura 1. Spații de lucru pentru: a) cupla cinematică de rotație, b) cupla cinematică de translație, c) două cuple cinematice de rotație RR, d) două cuple cinematice de translație TT, e) două cuple cinematice RT, f) două cuple cinematice TR.

### 2. Care sunt cele mai uzuale structuri ale mecanismului generator de traiectorie, $M=3$ ? Desenați schema cinematică și forma spațiului de lucru.

Cele mai uzuale structuri ale mecanismului generator de traiectorie pentru  $M=3$  sunt: RRR sau denumit robotul în coordonate polare (figura 2), RRT sau robotul în coordonate sferice (figura 3), RTT sau robotul în coordonate cilindrice (figura 4a), RRR sau robotul SCARA, TTT sau robotul în coordonate carteziene (figura 4b).

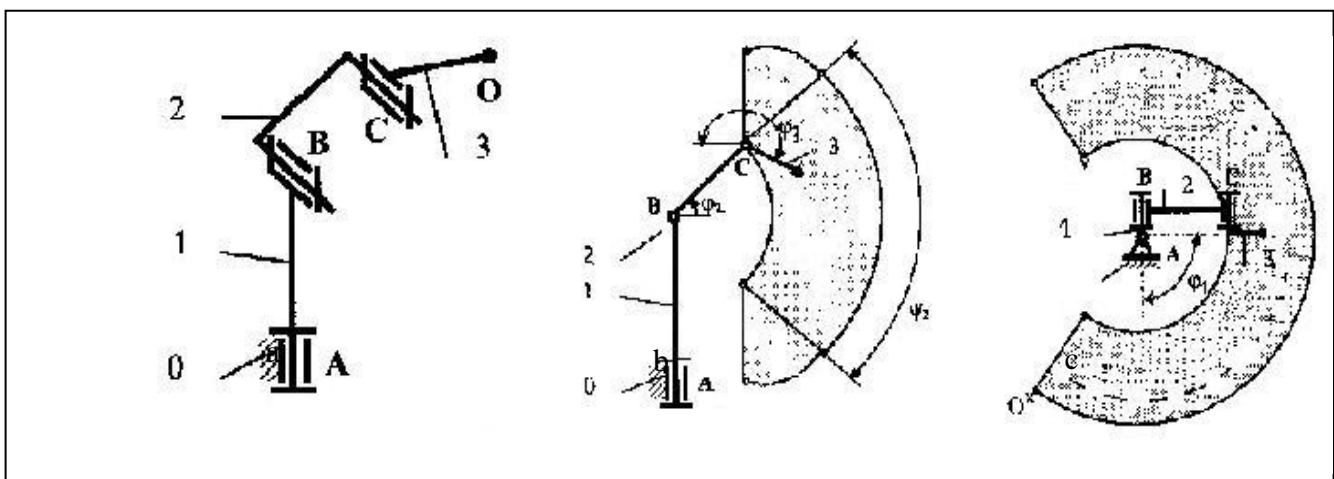


Figura 2. Schema cinematică a robotului în coordonate polare RRR (a) Spațiul de lucru în secțiune prin axa A (b); Spațiul de lucru în secțiune perpendiculară pe axa A (c)

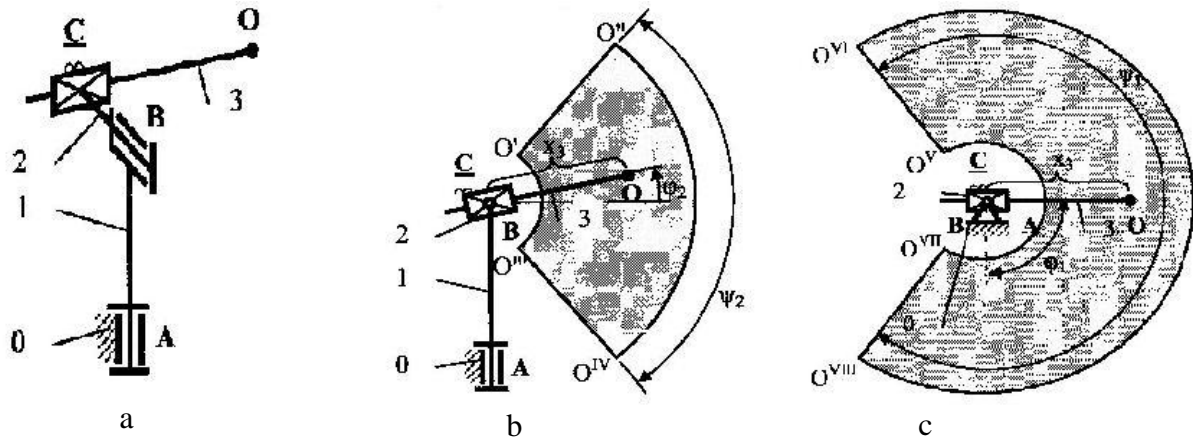
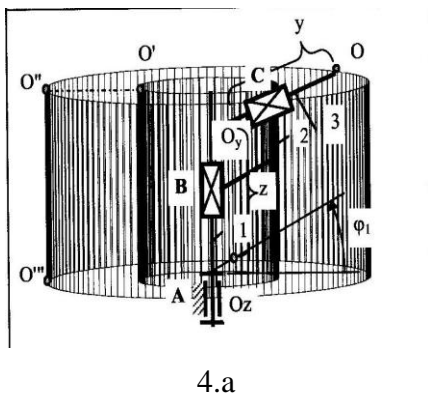
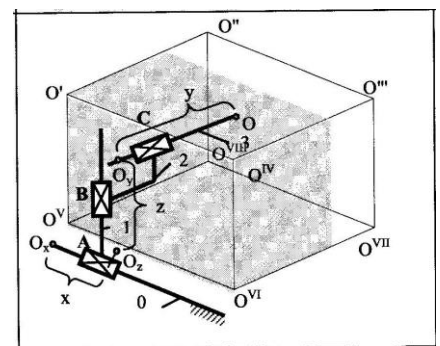


Figura 3. Schema cinematică a robotului în coordonate sferice RRT (a) Spațiul de lucru în secțiune prin axa A (b); Spațiul de lucru în secțiune perpendiculară pe axa A (c)



4.a



4.b

Figura 4 a. Schema cinematică și spațiul de lucru a robotului în coordonate cilindrice, 4b schema cinematică și spațiul de lucru a robotului în coordonate carteziene

3. Ce semnificație au elementele matricii de trecere de la sistemul de referință notat cu 2 la sistemul de referință 1 ( ${}^1T_2$ )?

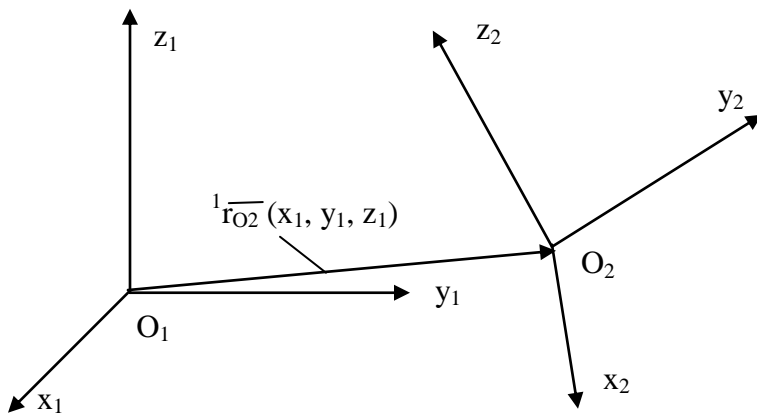


Figura 5. Situația relativă a sistemului de referință 2 față de 1

Matricea de trecere  ${}^1T_2$  exprimă, prin valorile elementelor matricii, situarea relativă a sistemului de referință 2 față de sistemul de referință 1 (figura 5). Situarea sistemului 2 față de 1 înseamnă: poziția originii sistemului 2 și orientarea axelor sistemului 2 față de sistemul 1.

Matricea de trecere dintr-un sistem de referință (2) în (1) este de forma:

$${}^1T_2 = \begin{bmatrix} \cos(x_1, x_2) & \cos(x_1, y_2) & \cos(x_1, z_2) & x_1 \\ \cos(y_1, x_2) & \cos(y_1, y_2) & \cos(y_1, z_2) & y_1 \\ \cos(z_1, x_2) & \cos(z_1, y_2) & \cos(z_1, z_2) & z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

unde, de exemplu :  $\cos(x_1, y_2)$  este cosinusul director al unghiului dintre axa  $x_1$  a sistemului de referință 1 și axa  $y_2$  a sistemului de referință 2, unghi măsurat în planul determinat de cele două axe, în sens trigonometric de la axa notată cu 1 spre 2, iar  $z_1$  este coordonata  $z$  a originii sistemului de referință 2 în raport cu sistemul de referință 1. Submatricea  $3 \times 3$  formată din cosinuşii directori este denumită și matricea de orientare, submatricea  $1 \times 3$  formată din coordonatele carteziene ale originii sistemului 2 față de sistemul 1 este denumită și matricea de poziționare.

#### **4. Ce înseamnă gradul de mobilitate al dispozitivului de ghidare serial al robotului și care sunt subsistemele dispozitivului de ghidare?**

Dispozitivul de ghidare al robotului industrial serial, din punctul de vedere mecanic, este un lanț cinematic deschis alcătuit din cuple cinematice conducătoare de clasa a V-a, de rotație sau de translație.

Lanțul cinematic serial are la un capăt elementul fix, sau considerat fix și la celălalt capăt elementul condus final, de care se atașează, în funcție de aplicația robotului, efectorul final al acestuia.

Se consideră, de către utilizator, un punct de pe elementul condus final sau de pe efectorul final, denumit punctul caracteristic al robotului (numit în literatură Tool Center Point, TCP), punct important pentru studiul cinematicii robotului.

Impunând ca lanțul cinematic al dispozitivului de ghidare ale robotului să fie deschis și desmodrom, rezultă  $c_5 = M$ ,

unde  $c_5$  este numărul cuplelor cinematice conducătoare (notația corespunzătoare disciplinei de mecanisme),  $M$  este gradul de mobilitate al lanțului cinematic;

$$n = M + 1;$$

unde  $n$  este numărul de elemente ale robotului (inclusiv elementul fix).

În funcție de aplicația robotizată, se determină numărul necesar al gradelor de mobilitate ale piesei sau sculei manipulate de către robot ( $M$ ), de unde rezultă numărul elementelor și a cuplelor cinematice conducătoare ale acestuia. Pentru 6 grade de mobilitate,  $n=7$ ,  $c_5=6$ .

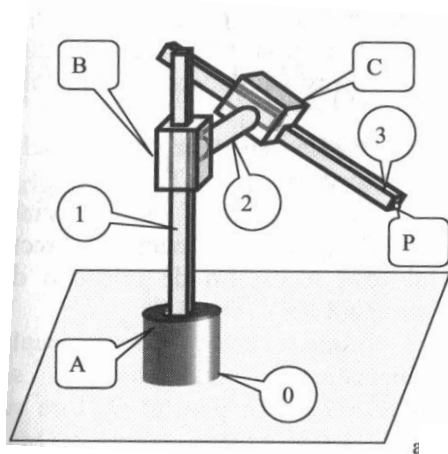
Dispozitivul de ghidare furnizează mișcările necesare de transport pentru ca efectorul final să manipuleze obiecte. În timpul manipulării obiectului, se modifică situarea acestuia față de un sistem de referință fix: se modifică poziția punctului caracteristic și orientarea obiectului în jurul acestui punct.

Subsistemul dispozitivului de ghidare care realizează modificarea poziției punctului caracteristic pe traiectorie, în timpul manipulării obiectului se numește mecanism generator de traiectorie.

Subsistemul dispozitivului de ghidare care realizează modificarea orientării obiectului manipulat se numește mecanism de orientare.

## 5. În ce constă problema cinematico-pozițională directă și inversă a robotului?

Analiza cinematico-pozițională directă a robotului calculează coordonatele carteziene ale punctului caracteristic (în acest caz notat cu P în figura 6), față de sistemul de referință atașat elementului 0 al robotului, cunoscând valorile coordonatelor generalizate  $q_i$  ( $i=1-3$ ) din cuplele cinematice conducătoare ale mecanismului generator de traiectorie.



Fie un robot RTT (figura 6) în coordonate cilindrice. Coordonatele carteziene ale punctului P, adică  ${}^0p_x, {}^0p_y, {}^0p_z$ , se calculează fie prin determinarea matricii de trecere  ${}^0T_3$  (după convenția Denavit Hartenberg), fie trigonometric.

Coordonatele generalizate  $q_i$  sunt în cazul robotului RTT

$q_1 = \theta_1$  (pivotarea de bază în cupla A),

$q_2 = d_2$  (ridicarea pe verticală, cupla de translație B),

$q_3 = d_3$  (extensia brațului, cupla de translație C).

Este evident că  ${}^0p_z = d_2$ ;

Figura 6. Schema cinematică a robotului în coordonate cilindrice

Pentru determinarea celorlalte două coordonate ale punctului P avem figura 7 ajutătoare, în vedere de sus a robotului :

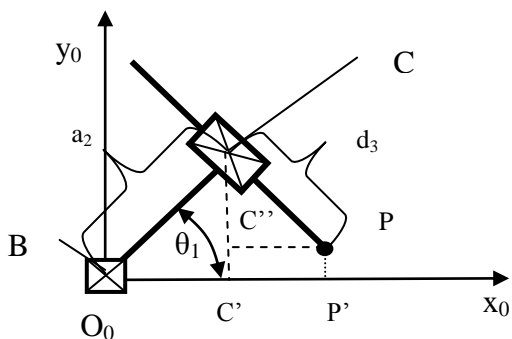


Figura 7. Vedere de sus

${}^0p_x = O_0P' = O_0C' + C'P' = a_2 \cos(\theta_1) + d_3 \sin(\theta_1)$ , pentru că unghiul  $\angle PCC' = \angle CO_0C' = \theta_1$ , ca unghiuri cu laturile două câte două perpendiculare.

${}^0p_y = CC' - CC'' = a_2 \sin(\theta_1) - d_3 \cos(\theta_1)$ .

Dacă se dorește atingerea unui punct din spațiul de lucru al robotului de coordonate cunoscute, problema cinematico-pozițională inversă pornește de la aceleași relații de mai sus, dar se data aceasta se determină coordonatele generalizate  $q_i$ , adică pivotarea de bază  $\theta_1$ , deplasarea pe verticală  $d_2$  și extensia brațului  $d_3$ ,

cunoscându-se valorile lui  ${}^0p_x, {}^0p_y, {}^0p_z$ .

## 6. Cum se calculează elementele matricii Jacobiene?

În analiza cinematică directă și inversă a vitezelor robotului, se pornește de la matricea coloană a vitezelor generalizate din cuple,  $\underline{\dot{Q}} = \|\dot{q}_1 \quad \dot{q}_2 \quad \dot{q}_3 \quad \dot{q}_4 \quad \dot{q}_5 \quad \dot{q}_6\|'$ , unde  $q_i$  este viteza unghiulară sau liniară a cuplei cinematice conducătoare  $i$ . Aceste viteze pot fi comandate în controlerul robotului.

Se urmărește calcularea vitezelor corpului manipulat, adică  $\underline{\dot{X}} = \|\dot{v}_x \quad \dot{v}_y \quad \dot{v}_z \quad \dot{\omega}_x \quad \dot{\omega}_y \quad \dot{\omega}_z\|'$ ,

unde  $v_x$  este viteza liniară a TCP-ului față de sistemul de referință atașat bazei robotului,  $\omega_y$  este viteza unghiulară a corpului manipulat față de același sistem de referință.

Matricea Jacobiană are 6 linii și 6 coloane și se deduce din relația:

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \dot{v}_z \\ \dot{\omega}_x \\ \dot{\omega}_y \\ \dot{\omega}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} & J_{14} & J_{15} & J_{16} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} & J_{24} & J_{25} & J_{26} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} & J_{34} & J_{35} & J_{36} \\ J_{41} & J_{42} & J_{43} & J_{44} & J_{45} & J_{46} \\ J_{51} & J_{52} & J_{53} & J_{54} & J_{55} & J_{56} \\ J_{61} & J_{62} & J_{63} & J_{64} & J_{65} & J_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \\ \dot{q}_5 \\ \dot{q}_6 \end{bmatrix}$$

Din înmulțirea matricilor relației de mai sus, obținem:

$$v_x = J_{11}\dot{q}_1 + J_{12}\dot{q}_2 + J_{13}\dot{q}_3 + J_{14}\dot{q}_4 + J_{15}\dot{q}_5 + J_{16}\dot{q}_6$$

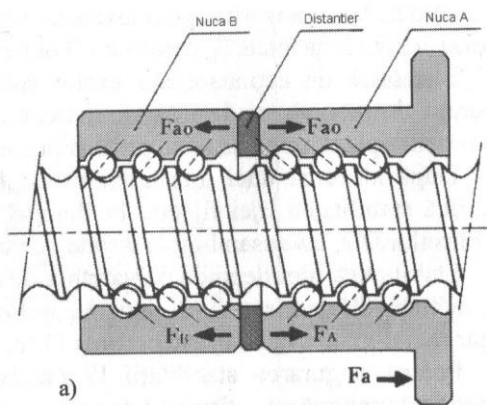
și făcând înlocuirile  $v_x = \frac{\delta x_0}{\delta t}$ , respectiv  $\dot{q}_j = \frac{\delta q_j}{\delta t}$ , se obține:

$$\delta x_0 = J_{11}\delta q_1 + J_{12}\delta q_2 + J_{13}\delta q_3 + J_{14}\delta q_4 + J_{15}\delta q_5 + J_{16}\delta q_6$$

$J_{11} = \delta x_0 / \delta q_1$ , pentru că  $\delta q_j / \delta q_1 = 0$ ,  $j=2, 3, 4, \dots, 6$  (mișcarea din cupla 1 nu influențează mișcările din celelalte cuple  $j$ ). Similar, de exemplu  $J_{42} = \delta \omega_x / \delta q_2$ .

### 7. În ce scop se realizează pretensionarea transmisiei cu cuplă cinematică elicoidală de rostogolire?

Transmisia cu cuplă cinematică elicoidală de rostogolire este formată din: tijă filetată, nucă cu elemente de rostogolire (bile) și canal de recirculare a bilelor. Între suprafețele tije, bilei și nucii, în timpul mișcării lor relative, există jocuri, care se concretizează într-un joc axial al transmisiei.



O soluție de a avea un joc axial mic este de a alege o transmisie executată cu mare precizie, dar asta înseamnă cost ridicat al transmisiei. O soluție de compromis (joc axial mic, transmisie cu precizie de execuție a elementelor mai mică) este pretensionarea transmisiei (figura 8).

Nuca este formată din două părți, între care se montează un adaos de tip distanțier, între cele două părți ale nucii se

Figura 8. Pretensionarea transmisiei

aplică forțe  $F_{a0}$  de pretensionare. Soluția prezintă însă dezavantajul că transmisia nu va mai admite o forță axială maximă decât de  $2/3$  din încărcarea maximă admisă.

### 8. Ce avantaje deosebite prezintă transmisia cicloidală, avantaje care justifică includerea acesteia în construcția mecanică a robotului?

Un avantaj al transmisiei cicloidale este faptul că, ~50% dintre dinți se află în angrenare și, transmisia având în construcție 3 discuri, numărul acesta mare de dinți în angrenare duce la o presiune de contact mică pe perechea de dinți în contact. De aici rezultă o rezistență mare la șocuri.

Reductorul cicloidal are compactitate ridicată, gabarit mic, rigiditate mare la torsiune, rezistență la porniri/opriri frecvente și la reversări ale mișcării, greutate specifică mică, randament ridicat, durată de viață mare, întreținere ușoară.

### 9. Ce rol are dispozitivul de complianță?

Dispozitivul de complianță pasiv permite realizarea unei mișcări relative necomandate de către controler între efectorul final și ultimul element al dispozitivului de ghidare, sub acțiunea unor forțe de

contact. Dispozitivul de complianță este utilizat cu precădere la inserția știft cilindric în alezaj cu șanfren (teșitură a suprafeței frontale a găurii). Schema de principiu a acestui dispozitiv este prezentată în figura 9, unde sunt notate cu: DG - ultimul element al dispozitivului de ghidare,  $L_1$ ,  $L_2$  - seturi de arcuri lamelare cu elasticitate determinată, DP – dispozitiv de prehensiune,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  sunt flanșe în construcția dispozitivului de complianță, I- centrul instantaneu de rotație. Piesa manipulată de către un robot cu dispozitiv de complianță va executa, sub acțiunea forțelor de contact cu șanfrenul alezajului, o mișcare de amplitudine mică de translație și de rotație în jurul lui I.

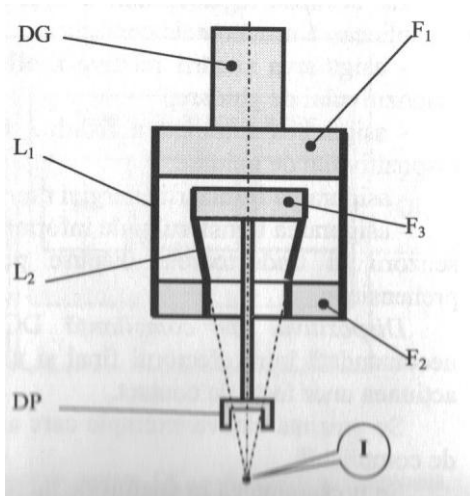


Figura 9. Dispozitiv de complianță cu centru de complianță îndepărtat.

**10. Ce probleme sunt la prehensarea obiectelor cu degete în mișcare de rotație? Desenați schema cinematică a unui mecanism de prehensiune cu bare articulate.**

Mecanismul de prehensiune cu degete în mișcare de rotație realizează prehensarea pieselor prismatice pe cant, ca în figura 10 a. O soluție de contact mai stabil a piesei cu bacurile dispozitivului de prehensiune este prezentată în figura 10b. Prin prehensarea piesei cu acest DP se realizează semicentrare, adică coincidența planului de simetrie al piesei prismatice cu planul care conține axa X în figura 10a, adică planul bisector al unghiului de rotație ale celor două degete.

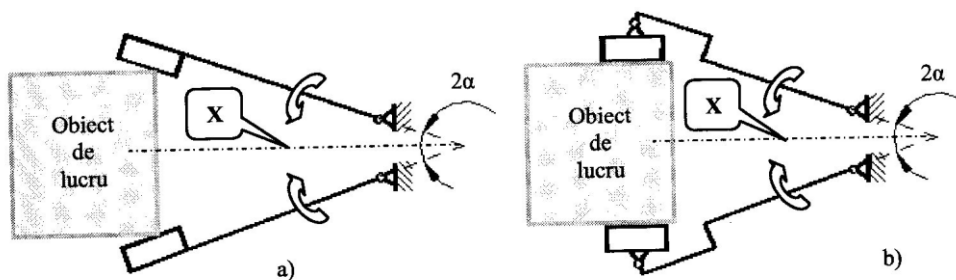


Figura 10  
Prehensarea piesei  
cu degete în  
mișcare de rotație

Pentru piesele cilindrice, bacurile DP sunt prisme, care realizează

centrarea (suprapunerea dreptei, axei de simetrie a obiectului cu dreapta de simetrie a DP). În acest caz prinderea obiectului se realizează pe prisme, cu 4 puncte de contact, dar centrarea se face cu o eroare de centrare dependentă de diametrul arborelui (figura 11).

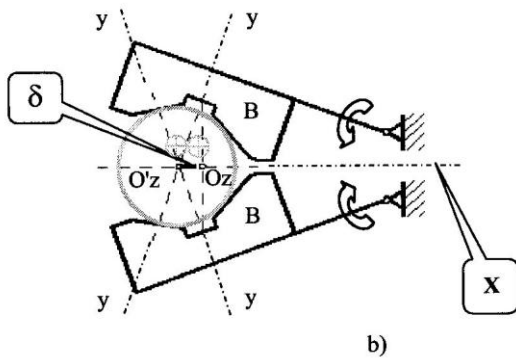


Figura 11. Bacuri sub formă de prisme pentru prehensarea pieselor cilindrice

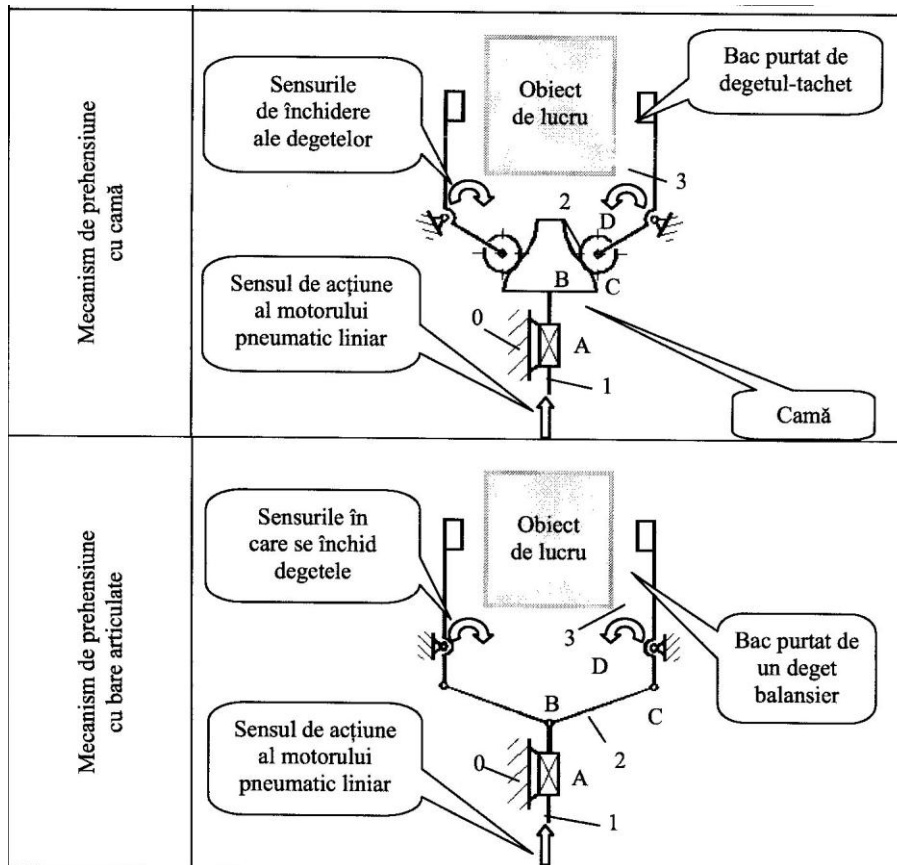


Figura 12. Scheme cinematice ale dispozitivelor de prehensiune cu degete în mișcare de rotație

## 11. Principiile convenției Denavit - Hartenberg

Convenția Denavit - Hartenberg s-a introdus în 1955. Este cea mai răspândită metoda de modelare geometrică a roboților. Avantajul metodei constă în reducerea numărului de parametri necesari trecerii de la un sistem de referință la altul de la 6 la 4.

Algoritmul este următorul:

- 1) Se notează elementele pornind de la baza robotului (elementul 0) și terminând cu efectorul final. Numărul cuplei cinematice este dat elementul cu cifră mai mare din componența ei.
- 2) Axa  $z_{i-1}$  este axa cuplei cinematice „i”, care leagă elementul „i-1” de elementul „i”.
- 3) Axa  $x_{i-1}$  este perpendiculara comună a axelor  $z_{i-1}$  și  $z_{i-2}$  și este orientată de la  $O_{i-2}$  la  $O_{i-1}$ . Originea sistemului de referință se alege în punctul de intersecție al perpendicularelor comune cu axele cuplelor cinematice.
- 4) Sensul pozitiv fiind de la indicele mai mic la cel cu indice mai mare.

5) Axele Y sunt definite de produsul vectorial  $\bar{Y} = \bar{Z} \times \bar{X}$ .

## 12. Expresia matricei de transformare omogena a convenției Denavit - Hartenberg

Trecerea de la sistemul de referință  $O_{i-1}$  la cel cu originea în  $O_i$  se face prin 4 mișcări elementare:

- ⇒ o rotație cu unghiul  $\theta_i$  în jurul axei  $z_{i-1}$  de suprapunere a axei  $x_{i-1}$  pe direcția axei  $x_i$ , sensul pozitiv fiind de la  $x_{i-1}$  la  $x_i$ ;
- ⇒ o translație cu  $d_i$  de-a lungul axei  $z_{i-1}$  ce aduce originea  $O_{i-1}$  în  $O'_{i-1}$ , sensul pozitiv de la  $O_{i-1}$  în  $O'_{i-1}$ ;
- ⇒ o translație cu  $a_i$  de-a lungul axei  $x_i$  suprapunând originea  $O'_{i-1}$  cu  $O_i$ , sensul pozitiv de la  $O'_{i-1}$  la  $O_i$ ;
- ⇒ o rotație cu unghiul  $\alpha_i$  în jurul axei  $x_i$ , de suprapunere a axei  $z_{i-1}$  pe axa  $z_i$ , pozitiv în sensul trigonometric.

Matricea de transformare omogena de la elementul „i” la elementul „i-1” este de forma:

$${}^{i-1}T_i = \text{Rot}(z_{i-1}, \theta_i) \cdot \text{Trans}(z_{i-1}, d_i) \cdot \text{Trans}(x_i, a_i) \cdot \text{Rot}(x_i, \alpha_i)$$

## 13. ROBOT-ul

**Robotul** este un sistem mecatronic mobil, destinat automatizării interacțiunii omului cu mediul în care operează. Sistemul mecatronic este alcătuit din componente mecanice, electronice și de calcul automat. Funcțiile robotului sunt:

- creșterea productivității muncii în procesele de fabricație;
- adecvarea omului la mediul în care el operează.

*Creșterea productivității muncii* rezultă din creșterea vitezei și preciziei de execuție a robotului față de performanțele omului. De asemenea robotul va executa în același ritm pe durata întregii perioade de lucru activități repetitive, monotone și plictisitoare.

*Adecvarea omului la mediul său de lucru* conduce la creșterea eficienței interacțiunii sale cu mediul.

Influența nocivă sau ostilitatea mediului asupra omului se datorează:

- solicitărilor de ordin fizic la care este supus omul în realizarea interacțiunii cu mediul;
- solicitărilor de ordin psihic ale omului în realizarea unor activități repetitive;
- perturbațiilor la care este supus omul din partea mediului (căldură /frig, zgomot /vibrații, lumină /întuneric etc.).
- desfășurării activității în medii inaccesibile omului (radioactiv, extraterestru, subacvatic, agresiv chimic etc.).

De asemenea robotul adecvează omul deficient cu mediul normal. În acest sens se amintesc echipamente cum ar fi: instalații de teleoperare, proteze / orteze, manipolatoare medicale, exoschelete amplificatoare etc.

## 14. Flexibilitatea sistemelor de fabricație automat.

Flexibilitatea constă în capacitatea de modificare a unui sistemului de fabricație în vederea adaptării sale, în mod automat, la noi sarcini de producție. Spre deosebire de *sistemele de fabricație automate rigide* (ex. liniile de fabricație rigide), care sunt concepute pentru realizarea unei singure sarcini de producție, *sistemele de fabricație automate flexibile*, sunt astfel concepute încât să se poată transforma (adapta) în vederea realizării mai multor sarcini de producție diferite.



Sarcinile de producție se referă la realizarea propriu-zisă a pieselor, subansamblurilor sau ansamblurilor, concretizându-se în întreaga activitate întreprinsă de la transformarea semifabricatului în produs finit în cazul pieselor, sau a operației de montaj în cazul subansamblurilor sau ansamblului general.

Exemple de sisteme de fabricație flexibile: liniile de fabricație adaptive la câteva variante de sarcini de producție, centrele de fabricație cu comandă numerică, liniile de fabricație cu comandă numerică, sisteme integrate de mașini-unelte și instalații logistice (robocare) etc., toate fiind comandate de structuri ierarhizate de echipamente de prelucrare a datelor.

## **15. Construcția modulară a unui robot serial**

Structura funcțional-constructivă a roboților cu dispozitive de ghidare având topologie serială insistă tocmai în punerea în evidență a proprietăților funcționale și constructive ale roboților. Ea se bazează pe noțiunea *modul de robot*. Structura funcțional - constructivă mai poartă și numele de *structură modulară*.

Se înțelege prin modul al unui robot, un subansamblu care în principiu este corelat cu una sau mai multe cuple cinematice ale dispozitivului de ghidare și cu efectorul final.

Modulul de robot corelat cu cupla cinematică conducătoare, conține partea mecanică ce materializează cupla cinematică, partea din sistemul de acționare care impune mișcarea relativă ale elementelor cuplei cinematice, traductoarele aferente controlului acestei mișcări relative, senzorii care urmăresc parametrii funcționali și de mediu a componentelor enumerate. Părțile "fixe" ale sistemului de acționare aferent cuplei cinematice conducătoare și traductoarelor / senzorilor, sunt solidarizate cu structura de rezistență a unuia dintre elemente cuplei cinematice. Legătura dintre două module vecine se realizează prin intermediul structurii de rezistență a elementului  $i$ . În acest mod, întregul robot serial este de fapt *constituit din legarea în serie a unui număr de module*.

Modulul de robot corelat cu o singură cuplă cinematică conducătoare poartă o denumire care definește funcția lui în cadrul robotului. Astfel, există module de translații de bază, de pivotare de bază, de ridicare a brațului, de basculare a brațului, de extensie a brațului, de pronație - supinație, de flexie - extensie, de aducție - abducție.

Modulul de orientare al unui robot se corelează cu toate cuplele cinematice ale mecanismului de orientare, conținând de atâtea ori componentele enumerate pentru modulul corelat cu o singură cuplă cinematică conducătoare, câte cuple cinematice conducătoare are mecanismul de orientare.