

ROBOTICĂ AVANSATĂ

Laborator

Anul de studiu: **IV**; Semestrul 7

Anul universitar: **2008/2009**

Nr. de ore activități aplicative: **laborator 2 ore/săptămână**

Nota pentru Activitatea pe Parcurs

Conținutul Laboratorului

1. Prezentarea laboratorului de Robotică. Acționarea roboților. Amplasamentul unei celule flexibile robotizate.
2. Roboții și funcțiile lor. Descrierea generală a unei aplicații robotizate
3. Studiul construcției sistemului mecanic al unui robot
4. Schema cinematică a unui robot
5. Modelarea geometrică 3D a structuri unui robot
6. Stabilirea datelor pentru modelarea geometrică 3D a robotului în aplicația RobSim
7. Modelarea geometrică a mecanismelor generatoare de traiectorie
8. Modelarea geometrică a mecanismelor de orientare
9. Stabilirea datelor pentru stocarea în baza de date a robotului în aplicația RobSim
10. Modelarea cinematică directă a mecanismului generator de traiectorii
11. Modelarea cinematică directă a mecanismului generator de traiectorii
12. Simularea unei sarcini de fabricație
13. Simularea unei sarcini de fabricație
14. Noțiuni de PowerPoint necesare expunerii activității pe parcurs
15. Recuperarea lucrărilor de laborator

3. Bibliografie:

1. **Paul R. P.:** Robot Manipulators mathematic, Programming and Control, The MIT Press, Cambridge Mass, 1981
2. **Ranky P. G., Ho C. U.:** Robot Modeling. Control and Application with Software, Springer Verlag, Berlin, 1985
3. **Craig J. J.:** Introduction to Robotics, Addison - Wesley Publishing, New York, 1986
4. **Kovács F., Rădulescu, C.:** Roboți industriali, Litografia Universității "Politehnica" Timișoara, Voi.1 și.2, 1992
5. **Kovács F., Tusz F., Varga, Ș.:** Fabrica viitorului, Introducere în producție, Editura Multimedia Internațional Arad, 1999
6. **Vucobratovic M., Potkonjak V.:** Applied Dynamics and CAD of Manipulation Robots, Scientific Fundamentals of Robotics 6, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1985

Titular disciplină:

Prof.dr.ing. Corneliu RĂDULESCU

Colaboratori:

Asis.dr.ing. Steliana VATAU

Lucrarea de laborator nr.1

1. Roboții și funcțiile lor. **Descrierea generală a unei aplicații robotizate**

1.1 Scopul lucrării de laborator

Lucrarea de laborator are ca obiective:

- prezentarea diferitelor tipuri de roboți, dintre care o parte se află în echiparea laboratorului de robotică avansată;
- evidențierea funcțiilor roboților;
- exemplificarea diferitelor aplicații în care sunt utilizați roboții.

1.2 Roboții și robotica

Robotul este un sistem mecatronic mobil, destinat automatizării interacțiunii omului cu mediul în care evoluează. Denumirea de “robot” a fost folosită prima dată de scriitorul ceh Karel Čapek în piesa de teatru "Roboții universali ai lui Rossum", 1920. Cuvântul "robot" este de origine slavă și definește o muncă executată forțat.

Apariția roboților în epoca actuală poate fi justificată și prin necesitatea adecvării omului la mediu, în scopul creșterii productivității interacțiunii cu mediul prin diminuarea efortului necesar realizării și creșterea calității produselor. Inițial roboții erau folosiți în principiu pentru realizarea operațiilor de manipulare, operații care mai puteau fi realizate și cu ajutorul manipuletoarelor. Se dorește a nu se face confuzie între termenii de manipuloare și roboți pentru operații de manipulare deoarece ultimii amintiți au o structură mecanică mult mai complexă și sunt conduși după programe flexibile, iar primii menționați au o structură mecanică simplă și sunt conduși după programe rigide.

Dacă mediul este inaccesibil omului care trebuie să realizeze interacțiunea, adecvarea omului cu mediul se va face cu ajutorul instalațiilor de teleoperare când operatorul uman se află în partea accesibilă a mediului și comandă de la distanță acțiunea instalației aflate în partea mediului inaccesibilă omului pe baza unor informații culese în timp real.

Referitor la deficiențele pe care le are, operatorul uman poate fi corelat cu mediul prin intermediul protezelor, purtate de bolnav, care-i înlocuiesc porțiunea deficitară, sau a ortezelor care doar suplinesc anumite deficiențe. Tot în această sferă intră și exoscheletele amplificatoare care se atașează organismului sănătos permițând manipularea unor greutăți care depășesc capacitățile fizice ale omului normal, sau în condițiile unei accelerații gravitaționale ce depășește condițiile pământești.

O clasificare a roboților se poate face astfel:

- roboți staționari, imobili față de anumite componente ale mediului în care evoluează;
- roboți mobili:
 - vehicule ghidate automat care se deplasează pe roți sau șenile;
 - mașini pășitoare care realizează deplasarea pe sol pe principiul pășirii;
 - mașini târătoare care realizează deplasarea pe principiul târării.

Robotica este definită ca fiind domeniul de știință tehnică ce are ca obiect cercetarea automatizării interacțiunii omului cu mediul în care trăiește.

Astfel, pot fi incluse în robotică cercetările referitoare la concepția, construcția și utilizarea roboților, a diferitelor sisteme, mașini, dispozitive, care lucrează fără intervenții continue sau intervenții la intervale regulate ale omului, fiind utilizate pentru producerea de bunuri materiale sau la prestarea de servicii, ca și în preocupări legate de senzorică, actorică și inteligență artificială.

Prin definiția ei, robotica este un domeniu multidisciplinar a cărui componență este evidențiată în fig.1.1:

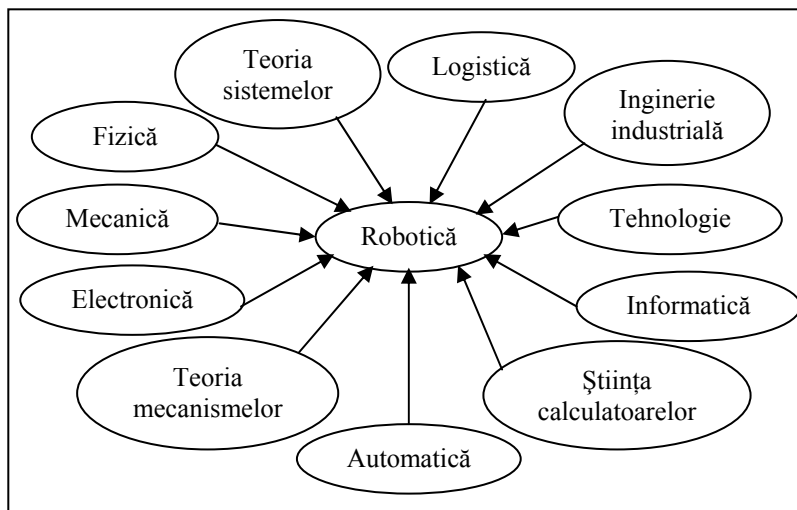


Fig.1.1. Robotica, domeniu multidisciplinar.

Dar și rezultatele roboticii sunt utilizate de asemenea în domenii multiple evidențiate în fig.1.2:

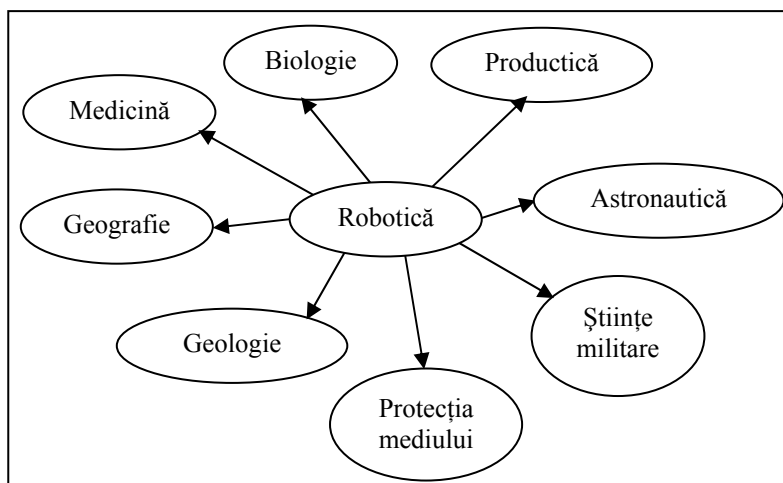


Fig.1.2. Robotica, aplicație în alte domenii.

1.3 Funcțiile robotului

Funcțiile robotului sunt:

- **creșterea productivității muncii** umane (a eficienței interacțiunii acestuia cu mediul);
- **adecvarea omului cu mediul** cu care el interacționează.

Creșterea productivității muncii rezultă din însăși înlocuirea omului în activitățile necreative, repetitive, plictisitoare, prin creșterea vitezei și preciziei cu care lucrează robotul față de cazul când operațiile sunt executate de către om.

Adecvarea la mediu permite eliminarea influenței nocive a acestuia asupra omului (căldură – frig, lumină – întuneric, vibrații – șocuri, mediu agresiv chimic, atmosferă poluată, monotonie etc.), desfășurarea activității în medii inaccesibile omului (radioactiv, subacvatic, extraterestru etc.), sau interacțiunea unui om cu deficiențe cu un mediu normal.

1.4 Aplicații ale roboților

În conformitate cu funcțiile menționate robotul poate fi utilizat în aplicații industriale sau neindustriale producătoare de bunuri materiale sau prestatoare de servicii (fig.1.3).

Roboții industriali lucrează în cadrul **sistemelor de fabricație robotizată**.

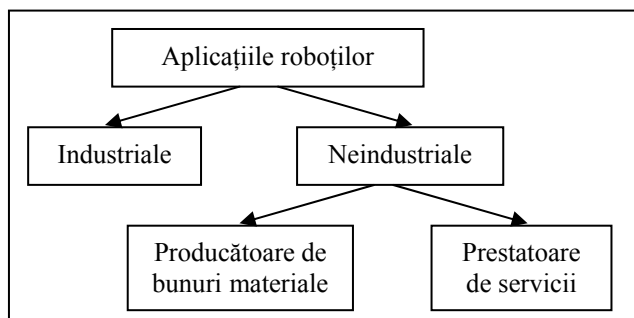


Fig.1.3. Clasificarea aplicațiilor roboților.

Un **proces de fabricație** se compune din totalitatea operațiilor de prelucrare și de manipulare care concură la execuția unei piese.

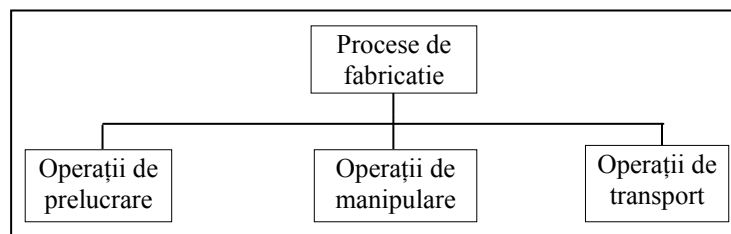


Fig.1.4. Compoanța procesului de fabricație.

Un sistem de fabricație conține totalitatea mijloacelor tehnice (mașini-unelte, dispozitive, scule, programe) și relațiile dintre acestea, care contribuie la realizarea procesului de fabricație. **Sistemul de fabricație** poate fi:

- **rigid**;
- **flexibil**, când se poate adapta în mod automat la diferite sarcini de producție.

Sistemul de fabricație se compune din:

- a) **subsistemul de prelucrare**, care efectuează toate operațiile de prelucrare a unei piese. Acesta cuprinde mașina de lucru, scula, dispozitivul de lucru și operatorul uman / robotul industrial care servește mașina de lucru;
- b) **subsistemul de manipulare**, care permite efectuarea operațiilor de manipulare a piesei în cadrul postului de lucru și care poate fi chiar operatorul uman, o instalație de alimentare / evacuare sau un robot industrial;
- c) **subsistemul de transport**, care asigură transferul piesei de la depozitul de semifabricate la primul post de lucru, între posturile de lucru, respectiv de la ultimul post de lucru la depozitul de produse finite. În acest scop se va utiliza un vehicul ghidat automat (robocar).

Sistemele de fabricație se pot clasifica:

- **clasice** dacă se bazează exclusiv sau în mare parte pe energia biologică și inteligența operatorului uman;
- **mecanizate** când efortul fizic al operatorului uman este în mare parte suplinit de acțiunea mașinii de lucru și a dispozitivelor de lucru;
- **mecanizat avansat** când o parte din operații se efectuează fără intervenția operatorului uman;
- **automate** dacă în majoritatea operațiilor, operatorul uman este doar supraveghetor.

În sistemele de fabricație clasice operatorul uman este singura componentă atât a subsistemului de prelucrare cât și a celui de manipulare, în cele mecanizate lipsește robotul industrial, în cele mecanizate avansat robotul industrial este cel mult un manipulator, iar în cele automate lipsește operatorul uman.

Câteva dintre domeniile în care sunt utilizați roboții sunt:

- servirea unor mașini utilaje/instalații/dispozitive;
- paletizare / depaletizare;
- montaj;
- vopsire;
- măsurare, control de calitate, testare;
- sudare;
- prelucrarea unor semifabricate;
- operații în "camere curate" etc.

1.4.1 *Aplicații industriale ale roboților*

Robotul industrial este deci componenta esențială a *sistemelor de fabricație automate flexibile*, deoarece poate executa automat și operațiile proceselor discontinue (de manipulare) de mare complexitate și este reprogramabil / adaptabil cu cheltuieli mici de manoperă / energie / materiale. Robotul industrial poate fi prezent atât în subsistemul de prelucrare cât și în cel de manipulare. Subsistemul de prelucrare poate conține între altele fie mașini de lucru, scule și dispozitive de lucru, fie roboți industriali, scule și dispozitive de lucru.

În consecință se poate concluziona că în aplicațiile lor industriale, roboții pot manipula:

- **obiecte de lucru** – caz în care fac parte din subsistemul de manipulare;
- **scule** – caz în care fac parte din subsistemul de prelucrare.

Prin obiect de lucru se înțelege semifabricatul, piesa, ansamblul sau subansamblul de manipulat, scule (neafiate însă în procesul de prelucrare), iar prin sculă – o freză, un pistol de sudare, un cap de sudare în puncte, un pistol de vopsire e.t.c.

Manipulare obiectelor de lucru de către un robot industriale este cel mai des întâlnită la:

- *servirea unor mașini de lucru, instalații sau dispozitive,*
- *operații de paletizare / depaletizare*
- *operații de montaj automat*

Manipularea sculei de către un robot industriale este frecvent utilizată în:

- *operații în turnătorii de formare, demaslotare, debavurare, curățire sau sablare;*
- *prelucrarea unor semifabricate prin așchiere, cu fascicul laser sau prin jet de apă cu înaltă presiune;*
- *operații de sudare prin presiune sau cu arc în mediu de gaz protector;*
- *operații de lipire cu material nemetalic sau cu material metalic;*
- *operații de metalizare robotizată;*
- *operații de vopsire prin pulverizarea vopselei lichide sau împrăștierea vopselei sub formă de pulbere;*
- *operații de măsurare, control de calitate, testare și inspecție;*
- *operații "în camere curate".*

1.4.2 *Aplicații neindustriale ale roboților*

Datorită augmentării volumului activităților neindustriale, sesizabilă în mod deosebit în țările cu economie dezvoltată, s-a impus dezvoltarea aplicațiilor roboților în activitățile mai sus menționate, evoluție care a fost favorizată și de posibilitățile de aplicare ale soluțiilor tehnice dezvoltate pentru Robotica Industrială în construcția roboților pentru aplicațiile neindustriale. Se apreciază că piața roboților pentru aplicații neindustriale va depăși de câteva ori piața roboților industriali.

Aplicațiile neindustriale de producere a unor bunuri materiale folosind roboți se referă la: construcții, minerit, agricultură, zootehnie, silvicultură, activități productive în medii inaccesibile pentru operatorii umani.

Câteva dintre activitățile din domeniul construcțiilor, robotizate sau cercetate în vederea robotizării, sunt enumerate mai jos: escavare – astupare, zidire, poziționare, îmbinare, montaj construcție metalică, acoperire, tencuire etc.

Dintre aplicațiile pentru care sunt folosiți roboții în agricultură amintim: operații de recoltare a fructelor, a legumelor, a ciupercilor etc.

Aplicațiile neindustriale ale roboților de prestări servicii se referă la domeniile: medicină, transporturi, gospodărie comunală, comerț, bănci, poștă și telecomunicații, instituții de credit, hoteluri și restaurante, roboți personali.

Destinațiile care le pot fi atribuite roboților în prestări servicii sunt: întreținerea curățeniei (podea, rezervor, pereți verticali, geam etc.), inspecție, activități subacvatice, reabilitare și activități medicale, curierat, supraveghere – securitate, alimentare cu combustibil, activități în hoteluri, și restaurante, deserviri în camere curate, activități în spațiul extraterestru, distracție, hobby, timp liber etc.

Îngrijirea sănătății oamenilor este una dintre cele mai accentuate activități din sfera prestărilor de servicii, prin robotizarea unor activități medicale fiind permisă reducerea ponderii necreative a activității medicale, mărirea caracterului obiectiv al acestuia, creșterea preciziei unor operații, roboții fiind utilizați atât la descoperirea afecțiunilor bolnavilor și ale cauzelor acestora, cât și la tratarea acestor afecțiuni, fiind prezenți în diferite activități de îngrijire a bolnavilor și în cele legate de funcționarea spitalelor:

- *diagnoză*: manipularea aparatelor de diagnoză, manipulator pentru situarea corpului / părților din corpul uman, instalații de teleoperare endoscopică;
- *terapie chirurgicală*: manipularea unor instrumente chirurgicale obișnuite, manipularea instrumentelor chirurgicale microinvazive, simulator chirurgical;
- *alte terapii*: manipularea aparatelor de tratament;
- îngrijirea bolnavilor: ascensor de pat, instalație de comisionare a medicamentelor, distribuirea hranei pentru bolnavi;
- *funcționarea spitalelor*: curățire, dezinfectare, manipularea paturilor, distribuirea de acte și efecte poștale și a lenjeriei;
- *curățirea grupurilor sanitare*;
- *curățirea geamurilor, pereților*;
- *întreținerea echipamentelor și spațiilor interioare*;
- *curățirea spațiilor exterioare*;
- *întreținerea echipamentelor și spațiilor exterioare*;
- *supravegherea spațiilor interioare și exterioare*;
- *manipulare de obiecte*: transfer de persoane, adunarea mingilor de tenis, de golf, e.t.c.;
- *ajutor de bucătărie*: servirea unor echipamente de bucătărie, prepararea unor mâncăruri simple;
- *alte aplicații*: antrenament sportiv, întreținerea bărcilor, jucării, reclame.

Lucrarea de laborator nr.2

2. Studiul construcției sistemului mecanic al unui robot

2.1 Scopul lucrării de laborator

Lucrarea de laborator are ca obiective:

- prezentarea structurii sistemului robotic;
- evidențierea similitudinilor dintre sistemul robotic și cel uman;
- prezentarea sistemului mecanic al roboților;
- expunerea dispozitivului de ghidare cu topologie serială.

2.2 Structura sistemului robotic

Din punct de vedere structural, robotul este definit ca fiind un **sistem**, adică un ansamblu de elemente componente, denumite subsisteme, și conexiunile dintre acestea. Din punct de vedere ierarhic, sistemele pot fi:

- de rang 1, sistemele;
- de rang 2, subsistemele sistemelor de rang 1;
- de rang 3, ș.a.m.d.

Structura sistemului robotic poate fi reprezentată prin *scheme bloc*, respectiv **matricea de structură** iar legăturile dintre elementele componente prin **matricea de cuplare**. Inițial roboții erau imaginați ca sisteme similare omului, similitudine care nu era eronată dacă este considerată din punct de vedere al funcțiilor îndeplinite de cele două sisteme, ci nu din punct de vedere constructiv.

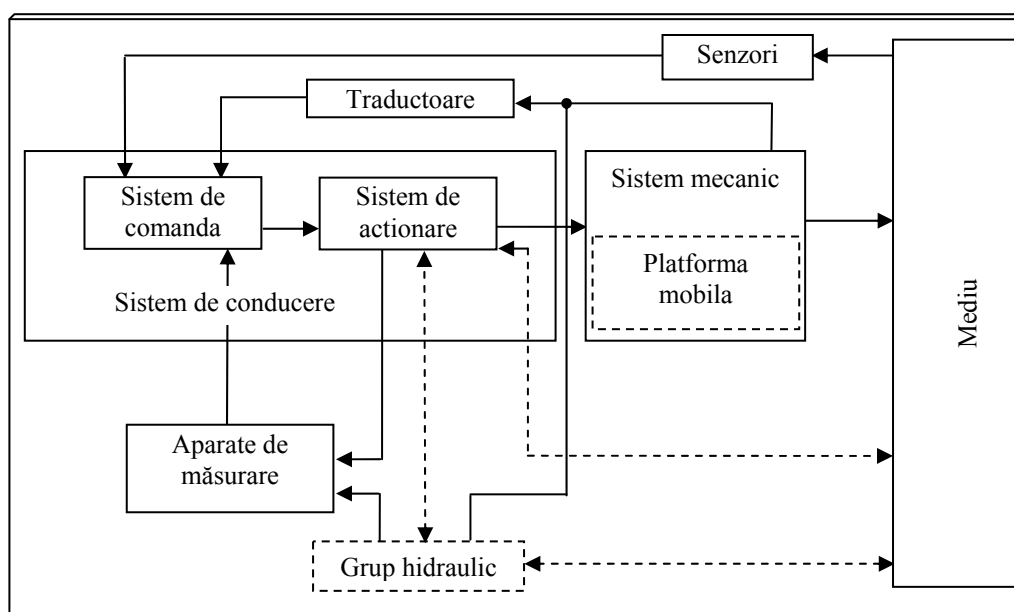


Fig.2.1. Structura sistemului robotic.

Astfel:

- **sistemul mecanic** al robotului are rolul scheletului uman și este definitoriu în delimitarea naturii și amplitudinii mișcărilor care se pot realiza;
- **sistemul de acționare** este echivalentul sistemului muscular al omului impunând mișcarea relativă a elementelor mecanismelor care constituie elementele sistemului mecanic;
- **sistemul de comandă**, echivalentul sistemului nervos uman, prelucrează informațiile de la sistemul mecanic și emite comenzi spre sistemul de acționare;

- **grupul hidraulic**, echivalentul aparaturii digestive, respiratorii și circulatorii, este destinat preparării și realizării circuitului fluidului purtător de energie;
- **traductoarele și aparatele de măsură**, ca și **senzorii** sunt echivalentul organelor de simț umane, furnizând informații despre starea internă, respectiv externă a mediului.

În componența sistemului mecanic al robotului intră **sistemul de conducere** care are ca subsisteme sistemul de comandă și pe cel de acționare.

Prin **mediu** se înțelege spațiul în care evoluează robotul, cu obiectele pe care le conține și totalitatea fenomenelor care au loc în acest spațiu.

Mediul poate fi împărțit în:

- mediu natural – spațiu nestructurat;
- mediu industrial – spațiu structurat.

Conexiunile robotului cu obiectele din mediu pot fi:

- directe: informații transmise de la sistemul de conducere la sistemul de acționare, informații transmise de la sistemul de acționare la cuplurile cinematice conducătoare și fluxurile energetice;
- inverse: informațiile primite de la robot de către senzori și traductoare.

Sistemul mecanic al roboților este echivalentul sistemului osos uman și are rolul de a asigura realizarea mișcărilor robotului și transmiterea energiei mecanice necesare interacțiunii cu mediul și are ca subsisteme dispozitivul de ghidare și efectorul final:

2.3 Structura dispozitivului de ghidare

Deplasarea unui obiect în spațiul tridimensional necesită modificarea a șase parametrii scalari (cinematici) 3R – rotații și 3T - translații, rezultă că dispozitivul de ghidare are $M=6$ grade de libertate, număr ce poate fi:

- $M < 6$, când nu sunt necesare mișcări complexe, respectiv,
- $M > 6$, când sunt necesare mișcări foarte complexe.

Gradul de manevrabilitate $M_m = M - 6$.

Se mai impune definirea noțiunii de **grad de manevrabilitate** ca fiind numărul posibilităților de dispunere pentru aceeași situație a efectorului final și este exprimată prin formula:

$$M_a = M - 6$$

Dacă gradul de manevrabilitate este mai mare de 6, atunci robotul se numește **robot redundant**.

În cazul dispozitivului de ghidare cu lanț cinematic deschis:

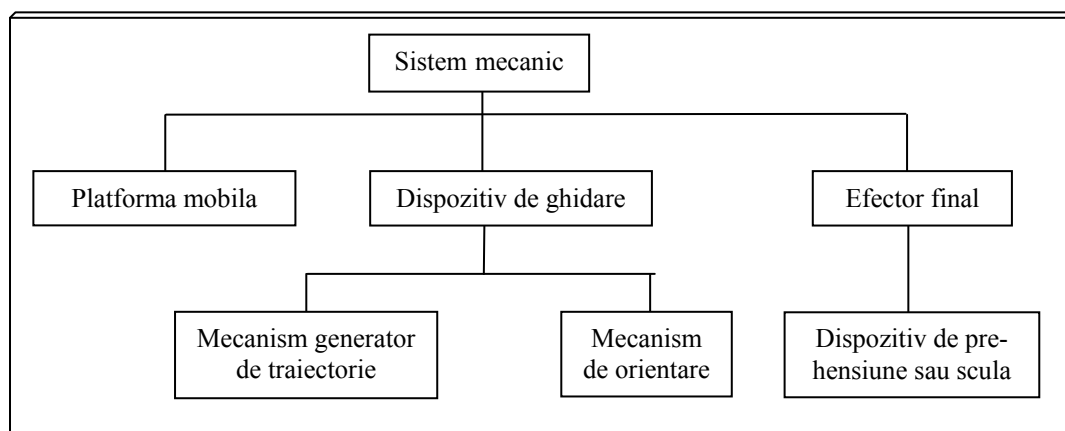


Fig.2.2. Sistemul mecanic al roboților.

Dispozitivul de ghidare asigură realizarea mișcărilor efectorului final ca și energia necesară realizării acestor mișcări, corelate cu „task-ul” - sarcina impusă dispozitivului de ghidare. Astfel acțiunea robotului asupra mediului este materializată:

- printr-o operație de **manipulare** a unor obiecte, concretizată prin modificarea situației (a poziției și orientării) obiectelor, caz în care efectorul final poartă denumirea de **dispozitiv de prehensiune**;
- printr-o operație de **prelucrare** a obiectelor, realizată prin modificarea situației bazei efectorului final cu care obiectul este solidarizat.

O clasificare a dispozitivelor de ghidare se poate face în funcție de natura conexiunilor dintre elemente. Astfel există:

- dispozitive de ghidare cu topologie serială;
- dispozitive de ghidare cu topologie paralelă;
- dispozitive de ghidare cu topologie mixtă.

Se poate menționa că în cazul dispozitivelor de ghidare cu topologie serială, mecanismul acestora are două componente distincte și anume:

- mecanismul generator de traiectorie, MGT;
- mecanismul de orientare, MO,

clasificare ce nu este valabilă și pentru celelalte variante constructive, în care funcțiile de poziționare și cele de orientare nu sunt separabile.

În definirea operațiilor de manipulare și de prelucrare s-a folosit noțiunea de **situare**. Înțelegem prin aceasta poziția și orientarea unui corp în spațiul tridimensional sau altfel spus, indicarea pentru punctul analizat a poziției punctului caracteristic și a orientărilor dreptelor caracteristică și auxiliară.

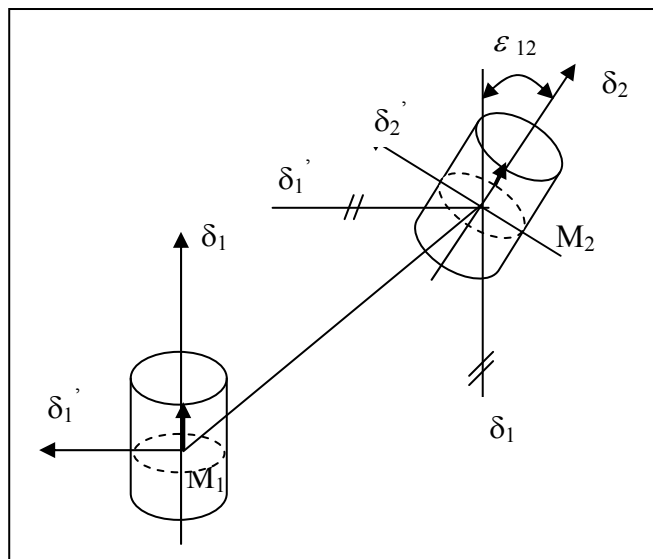


Fig. 2. 3. Evidențierea noțiunilor de punct caracteristic, dreapta caracteristică, dreapta auxiliară.

M_1 , - punctul caracteristic start;

M_2 - punctul caracteristic țintă;

δ_1, δ_2 - drepte caracteristice;

δ_1', δ_2' - drepte auxiliare.

Punctul caracteristic al unui obiect este un punct din cadrul acestuia folosit pentru definirea poziției obiectului. **Dreapta caracteristică** este o dreaptă ce trece prin punctul caracteristic, de obicei axa de simetrie a acestuia, iar **dreapta auxiliară** este perpendiculară în punctul caracteristic pe dreapta caracteristică:

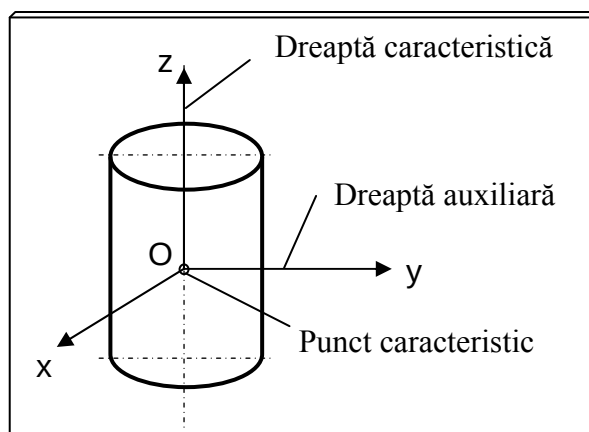


Fig.2.4. Identificarea punctului caracteristic, a dreptei caracteristice și a dreptei auxiliare pentru un obiect.

Așa cum se observă și din figura de mai sus, punctul caracteristic, dreapta caracteristică și dreapta auxiliară sunt folosite în definirea unui sistem de referință atașat obiectului, folosit în modelul matematic al sistemului mecanic al robotului.

În cazul în care robotul este folosit pentru prelucrarea obiectelor, efectorul final al robotului este o sculă sau un cap de forță cu sculă, după cum aportul de energie necesar prelucrării este asigurat numai de robot sau de robot și o altă sursă suplimentară de energie, iar scula sau capul de forță cu scula au rolul „obiectului manipulat”, a cărui situație a fost definită anterior.

O clasificare a roboților este în funcție de posibilitatea de modificare a situației întregului ansamblu al robotului în mediu, astfel diferențiindu-se:

- **roboți staționari;**
- **roboți mobili.**

2.4 Dispozitivul de ghidare cu topologie serială

S-a făcut o clasificare a dispozitivelor de ghidare conform căreia se disting: dispozitive de ghidare cu topologie serială, dispozitive de ghidare cu topologie paralelă și dispozitive de ghidare cu topologie mixtă.

Dintre acestea se va analiza cazul **dispozitivelor de ghidare cu topologie serială**, care sunt mecanisme spațiale ce stau la baza construirii lanțurilor cinematice deschise și în cadrul cărora sunt definite separat mecanismul generator de traiectorii, MGT, și mecanismul de orientare, MO. Schema structurală a dispozitivelor de ghidare cu topologie serială este prezentată mai jos:

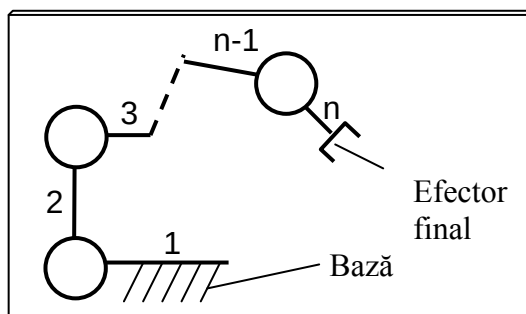


Fig.2.5. Dispozitiv de ghidare cu topologie serială.

Pentru ca dispozitivul de ghidare să poată modifica situația obiectului manipulat de robot este necesar ca numărul gradelor de mobilitate ale mecanismului să fie egal cu numărul gradelor de libertate ale obiectului în spațiu:

$$M = L_0 = 6$$

$$M = 6 \cdot (n - 1) - \sum_{i=1}^5 i \cdot c_i - \sum L_p - \sum L_{id}$$

n = nr. elementelor mecanismului;

c_i = nr. cuplelor cinematice de clasă „ i ”;

L_p = suma gradelor de libertate ale legăturilor pasive;

L_{id} = suma gradelor de libertate ale legăturilor de prisos.

Lanțul cinematic este desmodrom dacă $M = p$, unde p este numărul parametrilor relativi ai cuplelor cinematice conducătoare care se pot impune din exterior. Dispozitivul de ghidare este desmodrom numai dacă toate cuplele cinematice ale lanțului cinematic deschis sunt conducătoare.

Cuplele cinematice conducătoare ale dispozitivului de ghidare se numesc **axe** (axa cuplei R sau direcția axei cuplei T). Structura dispozitivului de ghidare cu topologie serială se descrie prin șirul de litere care semnifică ordinea axelor sale, începând cu axa cea mai apropiată de bază și terminând cu cea mai apropiată de efectorul final.

Spre exemplu, RTTRRR.

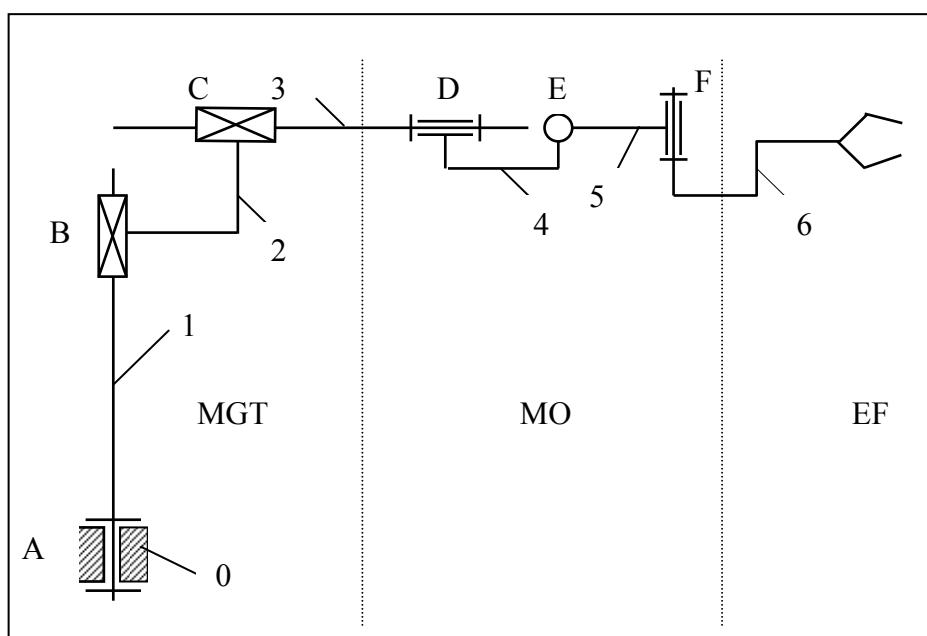


Fig. 2.6. Schemă structurală a unui robot tip RTTRRR.

Delimitarea între componentele dispozitivului de ghidare se face astfel:

- primele trei axe și patru elemente constituie mecanismul generator de traiectorie, având numărul gradelor de libertate:

$$M_{MGT} = 3 \cdot (n+1) + 2 \cdot C_5 = 3 \cdot (4-1) - 2 \cdot 3 = 3$$

- ultimele trei axe și trei elemente constituie mecanismul de orientare, având numărul gradelor de libertate:

$$L_{M0} = 3 \cdot n - 2 \cdot C_5 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 = 3$$

Evident, numărul gradelor de mobilitate ale dispozitivului de ghidare este:

$$M = M_{MGT} + L_{M0} = 3 + 3 = 6$$

Lucrarea de laborator nr.3

3. Schema cinematică a unui robot

3.1 Scopul lucrării

Lucrarea de laborator are ca obiective:

- prezentarea diferitelor tipuri de modele utilizate în spațiul 3D din AutoCAD;
- modelarea geometrică a structurii robotului;
- prezentarea tipurilor de sisteme de coordonate în AutoCAD.

3.2 . Tipuri de modele utilizate în spațiul 3D din AutoCAD

AutoCAD folosește trei metode de modelare pentru reprezentarea spațială a obiectelor și anume:

- **modelarea prin muchii și vârfuri**, frecvent denumită **“wireframe”**, adică rețea de sârmă. Modelul se constituie dintr-o rețea de muchii, trasate între puncte 3D ce definesc vârfurile. Modelul este perfect transparent. Nu există informații despre ceea ce se găsește între muchii și vârfuri, motiv pentru care modelul este sărac în informație. Nu se pot ascunde muchiile invizibile, nu se pot opaciza, umbri sau randa suprafețele. Entitățile specifice acestui tip de modelare sunt polilinii 3D sau curbe spline;
- **modelarea suprafețelor**, **“boundary representation”**, adică metoda frontierelor. Asimilează obiectul 3D prin suprafața sa exterioară. Elementele utilizate sunt muchii, fețe și puncte. Forma de bază pentru suprafețele acestor obiecte este rețeaua poligonală, bazată pe triunghiuri și / sau patrulatere. Nu există informații despre masa obiectului, despre ceea ce este în interiorul suprafeței modelate. Se pot ascunde muchiile nevizibile, se pot opaciza, umbri, randa suprafețele;
- **modelarea solidelor** sau **modelarea volumică**. Creează forme volumice complexe pe baza unor forme simple, numite primitive solide. Exemple de primitive solide sunt conul, sfera, piramida, cilindrul, prisma, etc. Mai pot fi folosite și forme solide obținute prin extrudare sau prin revoluție. Diferitele elemente de volum pot fi supuse operațiilor boolene de adunare, respectiv scădere. Modelele conțin multă informație. Se pot obține toate prelucrările vizuale cunoscute, se poate atașa un anumit material cu proprietățile acestuia.

Pentru a înțelege mai bine noțiunile de „wireframe”, „boundary representation” și modelare volumică este exemplificată realizarea acestora pentru un corp simplu.

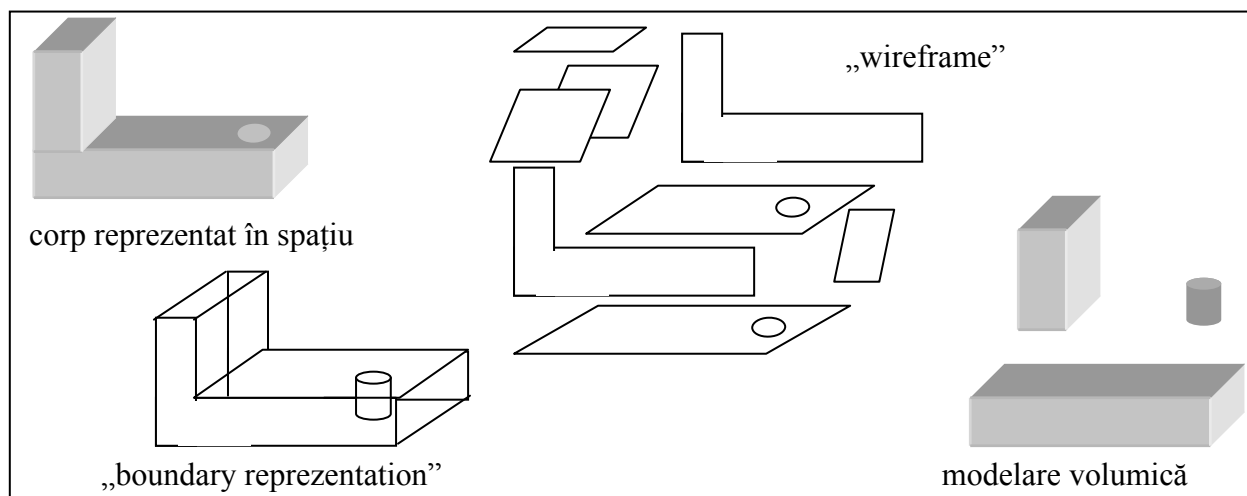


Fig. 3.1. Modele ale unui corp în AutoCAD.

Deși metoda este cea mai complexă, este ușor de perceput și de utilizat, deoarece algoritmi de desenare și de editare a obiectelor decurg la fel ca în natură sau la fel ca în mintea umană.

Complexitatea, ca și cantitatea de informație înmagazinată, crește de la primele exemple prezentate spre ultimele.

3.3 Modelare geometrică a structurii robotului

Pentru modelarea geometrică a robotului este necesar să existe o schiță cu schema cinematică a robotului pe care sunt indicate în fig. 3.2.a.:

- sistemele de referință asociate elementelor, puse după convenția Hartenberg-Denavit; $O_i x_i y_i z_i, i=1, \dots, 5$;
- distanțele dintre cuple cinematice conducătoare d_1, a_2, a_3, d_4 ;
- distanța de la ultima cuplă cinematică conducătoare la tool point – punctul caracteristic al obiectului prehensat, d_5 ;
- distanțele offset a_1 .

Pornind de la schema cinematică (fig. 3.2.a.) se desenează în AutoCAD simplificat, “*schema cinematică în 3D*” numită în continuare “*scheletul robotului*”. Se preferă alegerea sistemului de coordonate atașat elementului fix al robotului în originea sistemului de coordonate al modelului (punctul de coordonate 0,0,0). Scheletul robotului se desenează cu linii (fig.3. 2.b):

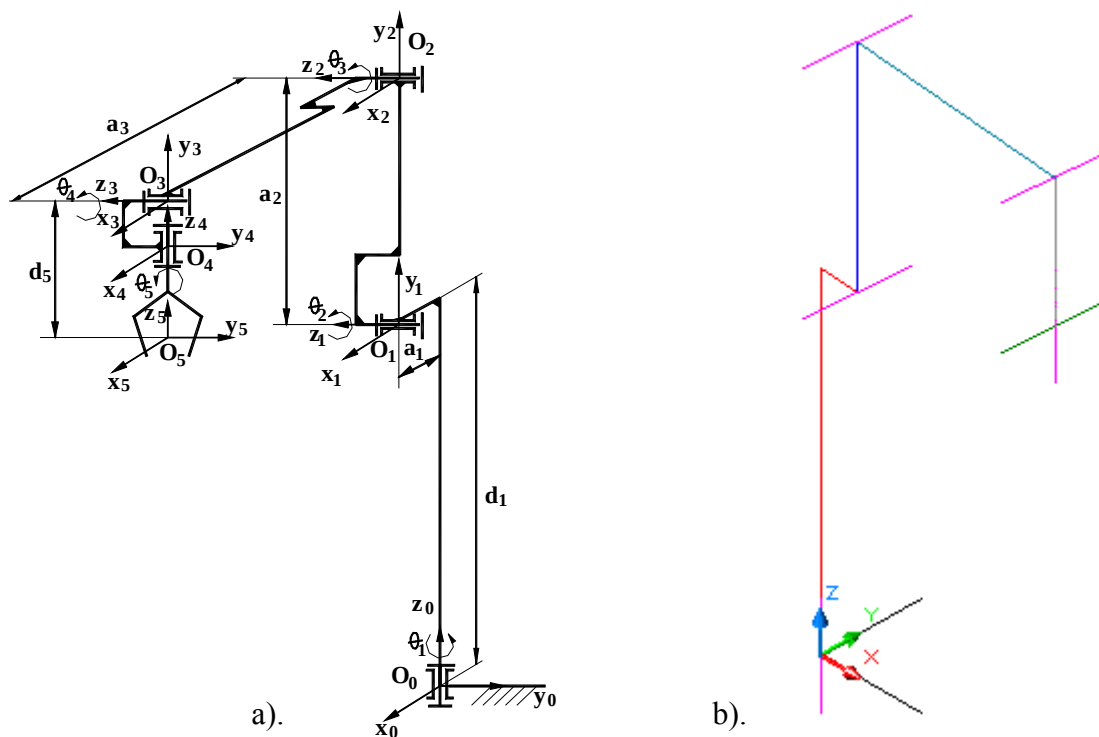


Fig. 3.2. Schema cinematică a robotului SCORBOT ERII

Se poate face identificarea:

- O_3 – W – „wrist point” – punctul caracteristic al mecanismului de orientare;
- O_5 – T – „tool point” – punctul caracteristic al obiectului manipulat.

3.4 Sisteme de coordonate în AutoCAD

În spațiul tridimensional sistemele de coordonate evidențiază cele trei dimensiuni ale entităților desenate, diferențiindu-se:

- sistemul cartezian;
- sistemul cilindric;
- sistemul sferic.

Sistemul cartezian

Acest sistem de coordonate este sistemul implicit de lucru al programului și totodată cel intern, orice alte sisteme de coordonate fiind convertite intern în coordonate cartezian.

Sistemul cartezian utilizează trei axe de coordonate: x, y și z, perpendiculare între ele și concurente în originea O (fig. 3.5.). Conform acesteia, dacă se cunosc sensurile pozitive ale axelor x și y, se va determina sensul pozitiv al axei z după regula mâinii drepte (fig. 3.3.) astfel: se plasează palma mâinii drepte în fața ecranului, cu fața internă spre noi, indicând cu degetul mare (policarul) sensul pozitiv cunoscut al axei X. Degetul arătător va fi îndreptat în lungul axei y, ca în figura 3.3. Degetul mijlociu, întins la 90° va indica sensul pozitiv al axei z.

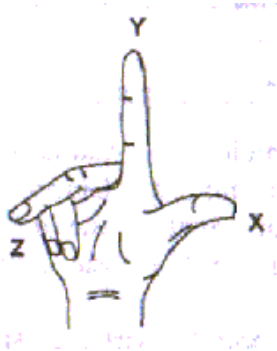


Fig.3.3. Dispunerea axelor triedrului Oxyz după regula mâinii drepte.

Dispunerea axelor și definirea sensurilor pozitive pe fiecare dintre ele respectă regula mâinii drepte (fig. 3.4.). Policarul mâinii drepte va fi îndreptat în sensul pozitiv al axei respective. Celelalte degete, închise în palmă, indică sensul pozitiv al rotației.

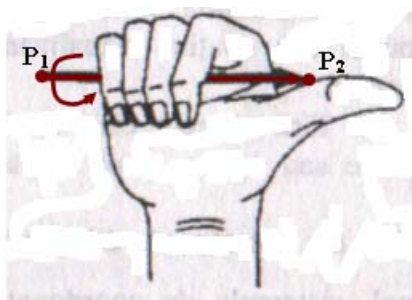


Fig.3.4. Determinarea sensului pozitiv de rotație în jurul unei axe folosind regula mâinii drepte.

Orice obiect poate fi complet definit în acest sistem de coordonate: forma, dimensiunile și poziția sa în spațiu, în raport cu alte obiecte din desen fiind univoc determinate.

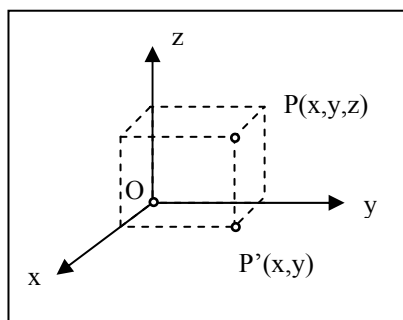


Fig. 3.5. Un punct în spațiul tridimensional.

Sistemul cilindric

Sistemul cilindric de coordonate derivă din cel polar. Razei polare R și unghiului α față de axa x , li se adaugă cota z , adică distanța măsurată pe axa z față de planul xy . Cota z este pozitivă atunci când măsurarea ei se face în sensul pozitiv al axei rectangulare z .

$$\begin{aligned}x &= \rho \cos \alpha \\y &= \rho \sin \alpha \\z &= z\end{aligned}$$

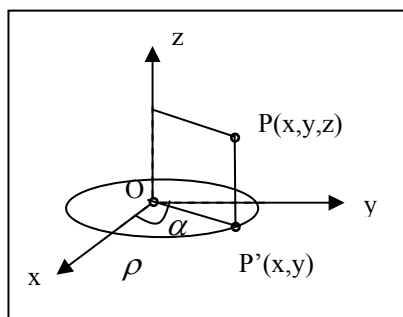


Fig.3.6. Sistem cilindric de coordonate în AutoCAD

Sistemul sferic

Sistemul sferic de coordonate derivă din cel plan polar. În acest caz, pe lângă raza polară R și unghiul α se utilizează și unghiul β reprezentând unghiul față de planul xy .

$$\begin{aligned}x &= R \cos \beta \cos \alpha \\y &= R \cos \beta \sin \alpha \\z &= R \sin \beta\end{aligned}$$

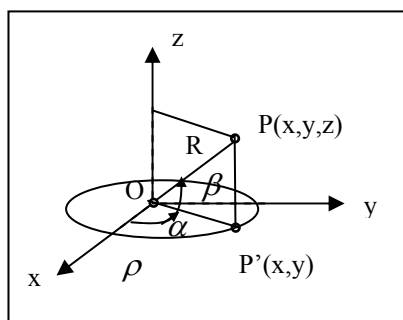


Fig. 3.7. Sistem sferic de coordonate.

Lucrarea de laborator nr.4

4. Modelarea geometrică 3D a structurii unui robot

4.1 Scopul lucrării

Lucrarea de laborator are ca obiective:

- expunerea metodologiei de realizare a modelelor 3D în AutoCAD;
- descrierea explicită a modului în care se va realiza modelarea geometrică a structurii robotice.

4.2 Modele solide în AutoCAD

Solidele sunt cele mai evolute modele 3D în mediul AutoCAD. Ele reproduc suficient de realist obiectele reale.

Pentru a genera obiectele solide de formă geometrică complexă, se construiesc pe rând diferite componente volumice parțiale, folosind elemente geometrice simple numite primitive solide: paralelipipedul, dreptunghiul, sfera, cilindrul eliptic sau circular drept, conul eliptic sau circular drept, pana și torul.

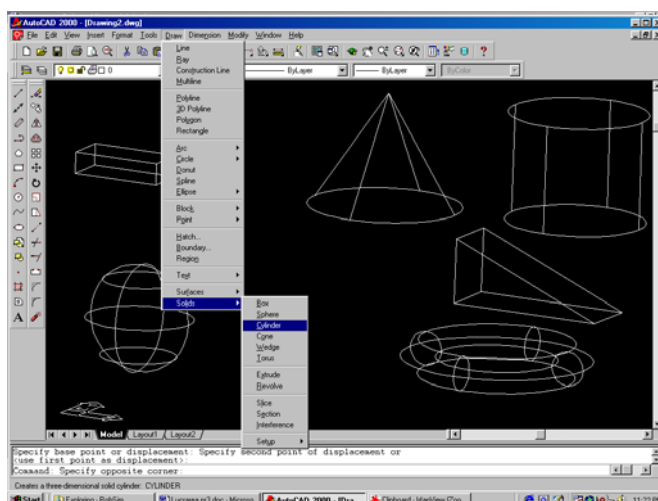


Fig.4.1. Primitivele solide admise de AutoCAD.

În fig. 4.1. este prezentată varianta implicită din timpul lucrului, sub forma unei rețele minimale de muchii și vârfuri. În figura 4.2. se prezintă obiectele renderizate, pentru a apropia imaginea de realitate.

Pentru a crea primitivele menționate AutoCAD dispune de comenzi de desenare adecvate. Comenzile pot fi introduse de la tastatură sau pot fi declanșate fie de pe bara de unelte „solids”, fie din meniul „Pull-Down” sau din meniul-ecran.

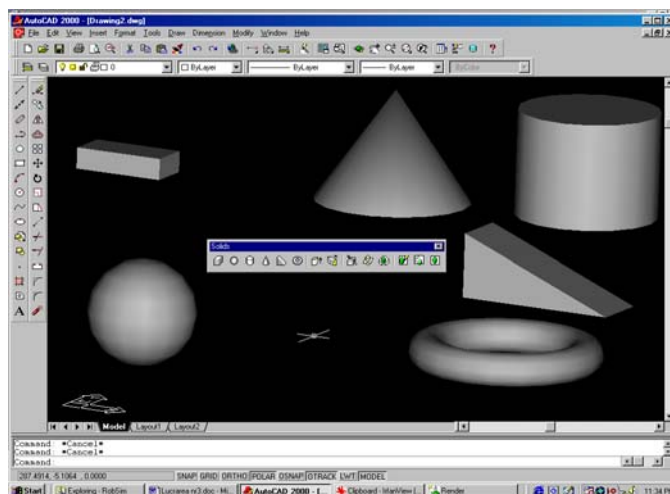


Fig. 4.2. Bara de unelte „solids” în AutoCAD.

Pentru a desena cu ușurință scheletul robotului, se poate începe cu desenarea unei linii verticale de lungime d_1 :

```
Command: line
Specify first point: 0,0
Specify next point or [Undo]: @0,0,340
Specify next point or [Undo]:
Command:
```

Fig. 4 3. Exemplu de comenzi de editare a unei linii prin furnizarea coordonatelor relative.

Se reamintește că *indicarea relativă a coordonatelor* se face prin precedarea valorilor coordonatelor de simbolul “@”.

- *Osnap* –

Pentru a indica primul punct al liniei următoare se utilizează modul “*Object Snap*” activat prin comanda : “*osnap*”. Se deschide o casetă de dialog (fig. 4.4.) în care se indică ca moduri active “Endpoint” și “Intersection”. Dacă modul osnap este activat, când se cere de către aplicație indicarea unui punct și cursorul mouse-ului este adus în apropierea unui capăt de linie din desen sau în apropierea intersecției a două linii, este selectat capătul de linie sau punctul de intersecție. În timpul modelării, în funcție de situație este necesară activarea sau dezactivarea modului “osnap”, operație realizată prin intermediul tastei “F3”.

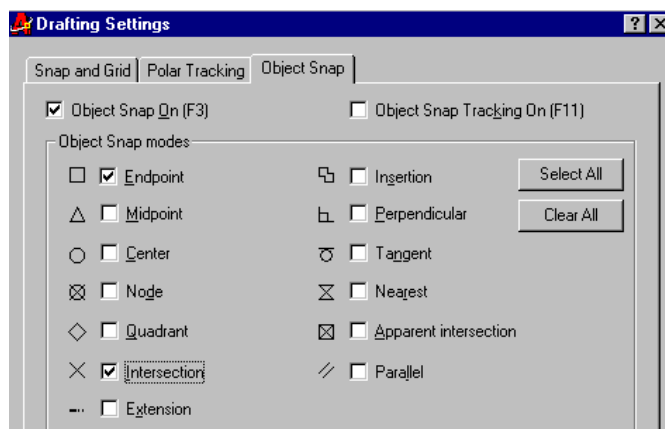


Fig.4.4. Selectarea opțiunii Osnap.

- *Extrude* –

În AutoCAD extrudarea are semnificația acordării de grosime pentru un contur plan închis sau pentru o suprafață plană finită. Extrudarea se face prin indicarea grosimii de extrudare și, opțional, a unei traiectorii pe care se realizează, sub forma unei curbe.

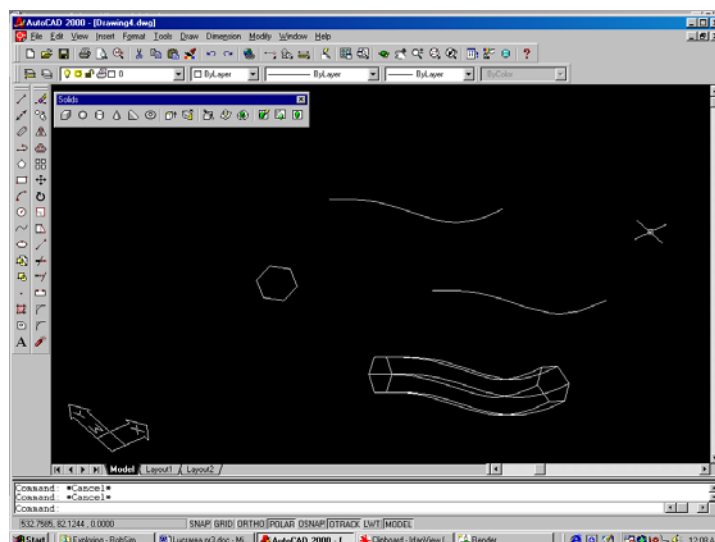


Fig. 4.5. Exemplu de obiect extrudat.

- *Revolve* –

Solidele de revoluție rezultă în AutoCAD prin rotirea unui contur plan închis sau a unei suprafețe plane finite în jurul unei axe, cu un unghi precizat.

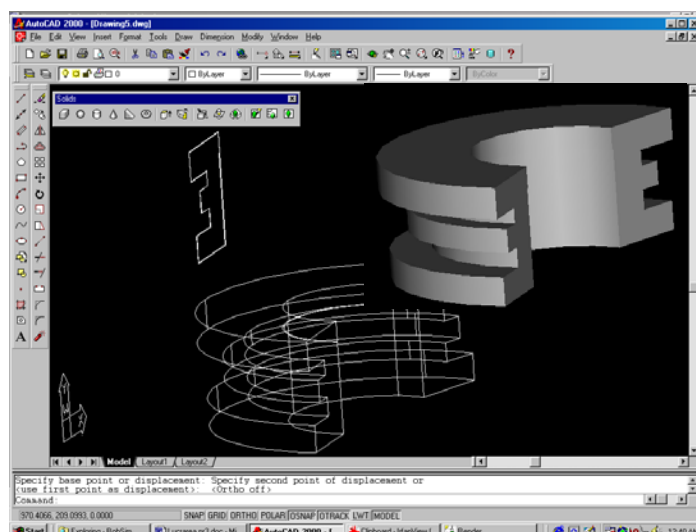


Fig.4.6. Exemplu de solid de revoluție.

Axa de revoluție poate fi:

- axa x a sistemului curent de coordonate;
- axa y a sistemului curent de coordonate;
- o axă virtuală definită instantaneu, prin precizarea a două puncte;
- un obiect liniar.

Mișcarea de revoluție se produce circular, într-un plan perpendicular pe planul entității rotite. Dacă axa definită mai sus nu este perpendiculară pe acest plan, rotirea se face în jurul proiecției acesteia pe planul de mișcare. Sensul pozitiv de revoluție este dat de regula mâinii drepte.

Unghiul de rotație poate fi plin (360°), sau mai mic. În primul caz obținem corpuri de configurație axial – simetrică.

- *Operații boolene cu solide*–

Obiectele solide în AutoCAD pot fi supuse unor operații de tip boolean, în scopul obținerii unor forme complexe, prin combinarea unor forme geometrice spațiale simple. Aceste operații sunt: reuniunea, intersecția și diferența. Semnificația și modul lor de aplicare este similar cu cel din algebra Boole.

- *Explode* –

La aplicarea comenzii „EXPLODE” pe un solid 3D, suprafețele plane ale acestuia devin entități de tip regiune, iar cele neplane „corpuri”. Acestea la rândul lor trec prin explodare fie în suprafețe simple 2D sau 3D, fie în curbe.

Obs.: prin explodarea unui solid compozit NU se reconstituie algoritmul de combinare al diferitelor primitive ce au generat forma acestuia.

- *Trim și Extend* –

Comenzile „TRIM” și „EXTEND” dispun în spațiul 3D de opțiuni specifice. Alternativele privind sistemul de proiectare aplicabil pentru a reteza o entitate prin comanda „TRIM”, sau pentru a o extinde, prin comanda „EXTEND”, în raport cu una sau mai multe entități, sunt accesibile prin opțiunea „Project” a celor două comenzi. Alternativa definită prin „None” conduce la aplicarea celor două editări numai pentru entitățile care realmente întâlnesc muchia sau muchiile de graniță în spațiul 3D.

- *Rotate 3D* –

Rotirea în spațiul tridimensional este similară celei din plan, numai că rotirea obiectelor se realizează într-un plan oarecare, ci nu în planul curent xy. Planul de rotație este definit indirect prin precizarea axei de rotație, perpendiculară pe acest plan. Comanda „ROTATE 3D”, care realizează rotirea obiectelor în 3D, oferă mai multe modalități de definire a axei de rotație:

- un obiect adecvat din desen;
- direcția privirii pentru vederea curentă, axa trecând printr-un punct indicat, prin opțiunea „View”;
- o paralelă la una din axe x, y sau z ale sistemului curent de coordonate, paralelă ce trece printr-un punct indicat;
- specificarea implicită a două puncte de pe axă, în cazul opțiunii „<2 points>”.

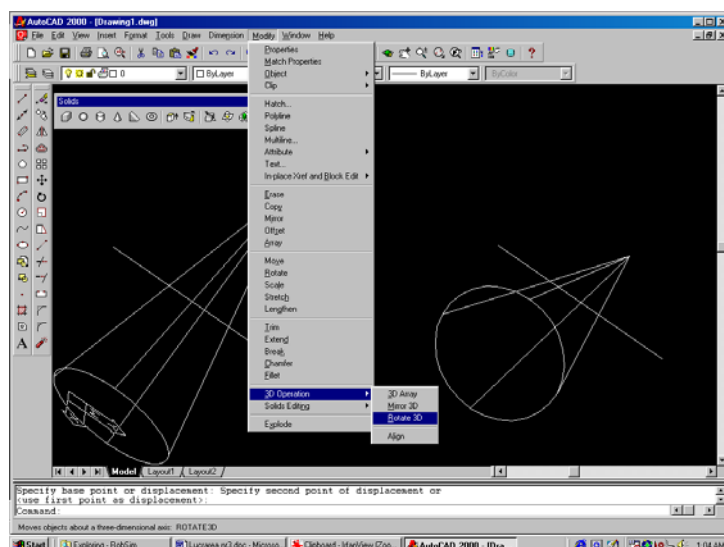


Fig.4.7. Exemplu de aplicare a comenzii “ROTATE 3D” în spațiu.

- *Align* -

Obiectele în spațiul 3D pot fi aliniate unele în raport cu altele în spațiul 3D prin intermediul comenzii „ALIGN”. Comanda poate realiza această aliniere folosind una, două sau trei perechi de puncte. În fiecare pereche, primul punct este punctul sursă, iar al doilea punct este punctul destinație.

Alinierea pe baza unei singure perechi de puncte este pur și simplu o mutare, o translatare a obiectelor selectate, după versorul cu originea în punctul sursă și vârful în punctul destinație. Cele două puncte pot fi dispuse oriunde în spațiul 3D.

Alinierea în raport cu două perechi de puncte implică o translație definită de prima pereche de puncte, o rotație cu un unghi definit de a doua pereche de puncte și, eventual, o scalare cu un factor definit prin distanța între primul punct, destinație, și cel de-al doilea.

Obs: nu este recomandată aplicarea unei alinieri în raport cu două perechi de puncte în spațiul 3D în plane neperpendiculare deoarece rezultatele sunt imprevizibile.

Alinierea în raport cu trei perechi de puncte este forma cea mai generală a acestei operații în spațiul tridimensional. Ea implică o translație definită de prima pereche de puncte și două rotații succesive, definite de celelalte perechi de puncte. Punctele utilizate în operația de aliniere pot fi dispuse oriunde în spațiul 3D.

Lucrarea nr.5.**5. Stabilirea datelor pentru modelarea geometrică 3D
a robotului în aplicația RobSim****5.1 Scopul lucrării**

Lucrarea de laborator are ca obiective:

- modelarea geometrică a dispozitivului de ghidare al roboților;
- convenția Hartenberg-Denavit;
- analiza cinematică directă;
- analiza cinematică inversă.

5.2 Modelarea geometrică a dispozitivului de ghidare al roboților

Funcția robotului este aceea de a asigura în timp situarea relativă necesară a sculei față de obiectul de manipulat, în conformitate cu procesul tehnologic în care este integrat.

Această situație se poate exprima prin produse de matrici care descriu trecerile succesive de efectuat prin sistemele de referință intermediare atașate diferitelor componente ale sistemului de fabricație.

Problema stabilirii situației EF corespunzătoare unui set de valori date ale deplasărilor relative ale elementelor din componența cuplelor cinematice conducătoare ale DG este cunoscută ca fiind **analiza cinematică directă** care determină deci situarea efectorului final în funcție de deplasările cunoscute ale elementelor din cuplele cinematice conducătoare ale DG.

Stabilirea deplasărilor din cuplele cinematice conducătoare ale DG, în conformitate cu cerințele impuse procesului tehnologic, constituie obiectivul **analizei cinemateice inverse** care determină care trebuie să fie situațiile relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare existente în dispozitivul de ghidare pentru a aduce efectorul final într-o succesiune de situații dorite.

Roboții industriali, așa cum le spune și numele, sunt utilizați de obicei în medii industriale. DG este purtător al EF care, în funcție de aplicația pentru care este proiectat, poate fi un dispozitiv de prehensiune, un cap de forță sau o sculă cu cap de forță.

Pentru modelarea geometrică se consideră un mic univers, hala industrială, și sistemele de referință asociate dispozitivului DL, obiectului Ob și cuplelor cinematice ale lanțului cinematic al DG.

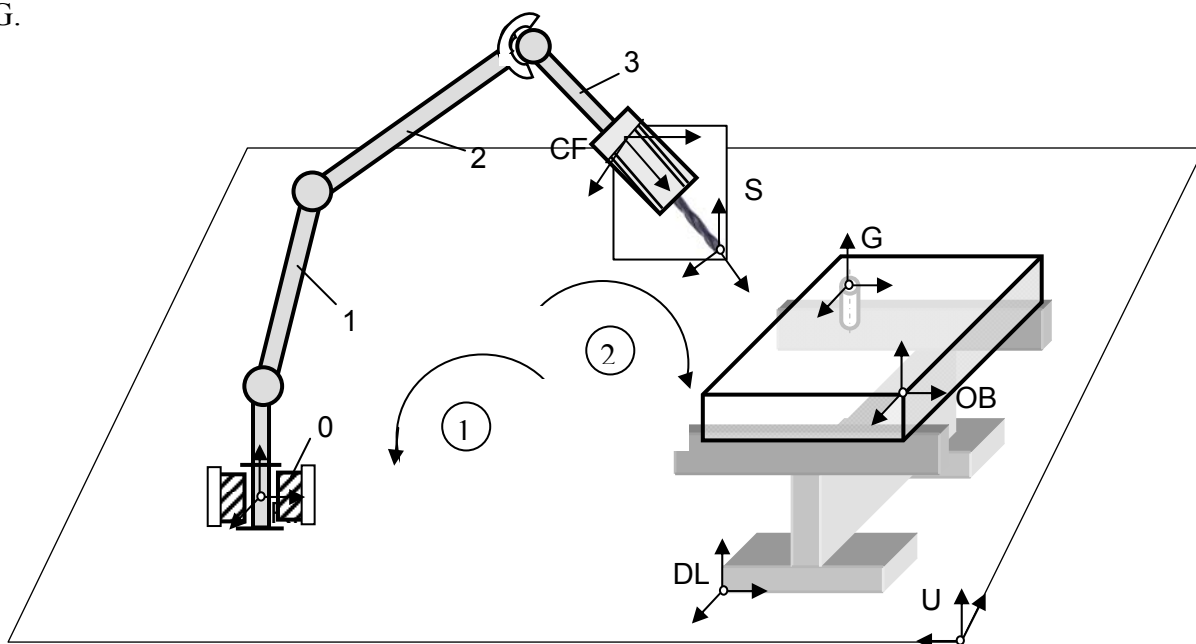


Fig. 5.1. Modelarea sistemului asociat unui sistem robotic pentru realizarea unor găuri.

Transferul de la sculă la sistemul universal al atelierului se poate scrie:

$${}^U T_S = {}^U T_{RI} \cdot {}^{RI} T_{CF} \cdot {}^{CF} T_S, \text{ pe lanțul tehnologic 1, unde:}$$

${}^U T_{RI}$ este matricea de trecere de la elementul fix al robotului la sistemul universal;

${}^{RI} T_{CF}$ este matricea de trecere de la capul de forță la elementul fix al robotului;

${}^{CF} T_S$ este matricea de trecere de la sculă la capul de forță.

Între sculă și sistemul universal al atelierului:

$${}^U T_S = {}^U T_{DL} \cdot {}^{DL} T_{OB} \cdot {}^{OB} T_G \cdot {}^G T_S, \text{ pe lanțul tehnologic 2, unde:}$$

${}^U T_{DL}$ este matricea de trecere de la dispozitivul de lucru la sistemul universal;

${}^{DL} T_{OB}$ este matricea de trecere de la obiect la dispozitivul de lucru;

${}^{OB} T_G$ este matricea de trecere de la gaura de executat la obiect;

${}^G T_S$ este matricea de trecere de la sculă la gaura de executat.

Rezultatele celor două egalități însă sunt egale, deci:

$${}^U T_{RI} \cdot {}^{RI} T_{CF} \cdot {}^{CF} T_S = {}^U T_{DL} \cdot {}^{DL} T_{OB} \cdot {}^{OB} T_G \cdot {}^G T_S.$$

Dar, dintre matricile egalității de mai sus unele matrici de trecere pot fi exprimate prin constante cunoscute și anume:

- ${}^U T_{RI}$, respectiv ${}^U T_{DL}$ pot fi stabilite din planul de amplasament al sistemului;
- ${}^{DL} T_{OB}$ poate fi stabilit cunoscând construcția dispozitivului de lucru;
- ${}^{OB} T_G$ se determină ținând cont de cotele existente în desenul de execuție al obiectului;
- matricea ${}^{CF} T_S$ poate fi dedusă cunoscând datele constructive ale mandrinei.

Astfel, matricea de trecere a capului de forță față de sistemul de referință atașat elementului fix al robotului este:

${}^{RI} T_{CF} = {}^U T_{RI}^{-1} \cdot {}^U T_{DL} \cdot {}^{DL} T_{OB} \cdot {}^{OB} T_G \cdot {}^G T_S \cdot {}^{CF} T_S^{-1}$, unde matricea ${}^G T_S$ variază în timp după legea impusă de procesul tehnologic de găurire deci și matricea ${}^{RI} T_{CF}$ va rezulta variabilă în timp, iar această variație trebuie asigurată prin mișcările relative ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare ale dispozitivului de ghidare al robotului industrial.

Mișcările elementelor se determină la rândul lor din produsul matricilor de trecere de la un element al dispozitivului de ghidare la altul, pornind de la capul de forță și parcurgând în ordine toate elementele lanțului cinematic, până la elementul fix al robotului. Pe această cale, expresia matricii de situare ${}^{RI} T_{CF}$ rezultă din succesiunea de produse:

${}^{RI} T_{CF} = {}^{RI} A_1 \cdot {}^1 A_2 \cdot {}^2 A_3 \cdot {}^3 A_4 \cdot {}^4 A_5 \cdot {}^5 A_6 \cdot {}^6 A_{CF}$ sau explicit, făcându-se referire numai la robot, fără cap de forță:

$${}^{RI} T_{CF} \cdot {}^6 A_{CF}^{-1} = {}^{RI} A_1 \cdot {}^1 A_2 \cdot {}^2 A_3 \cdot {}^3 A_4 \cdot {}^4 A_5 \cdot {}^5 A_6$$

Necunoscutele scalare din membrul stâng al acestei ecuații matriciale sunt deplasările liniare și unghiulare de imprimat elementelor conduse din cuplele cinematice conducătoare ale dispozitivului de ghidare, astfel ca robotul să aducă capul de forță în succesiunea situațiilor necesare față de gaura de executat.

Dacă se respectă împărțirea matricii de trecere ca în literatura de specialitate, atunci avem:

- matricea 4x4 reprezintă matricea de trecere;
- matricea 3x3 reprezintă matricea de orientare;
- matricea 1x3 reprezintă vectorul nul;
- matricea 3x1 reprezintă vectorul de translație;
- matricea 1x1 este termenul unitate necesar completării matricii de transfer.

		3
		X
		1
3X3		
	1X3	1X1

Trebuie deci determinate matricile de trecere din ultima egalitate, astfel rezolvând problema analizei cinematice directe, motiv pentru care trebuiesc atașate sisteme de referință elementelor robotului. Matricile de trecere vor fi:

$$R_x = \text{Rot}(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_y = \text{Rot}(y, \beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_z = \text{Rot}(z, \gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

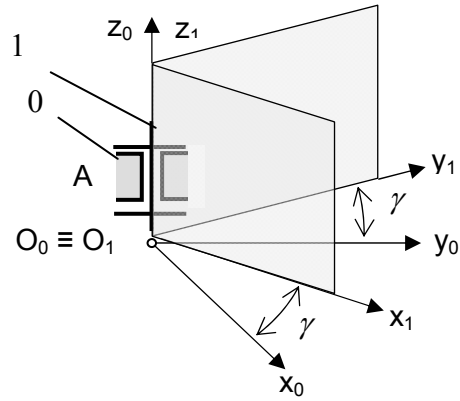


Fig. 5.2. Matrice de transformare omogenă elementară de rotație

Translația după cele trei axe de coordonate se va face astfel:

$$T_x = \text{Trans}(x, a) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_y = \text{Trans}(y, b) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_z = \text{Trans}(z, c) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

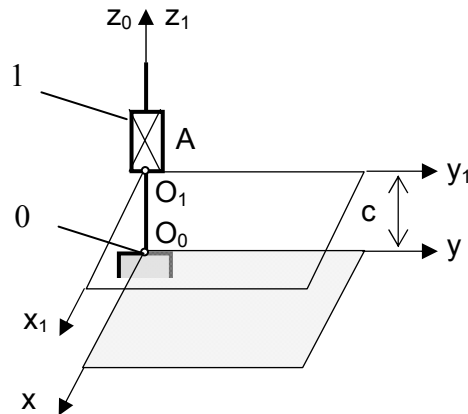


Fig. 5.3. Matrice de transformare omogenă elementară de translație.

Din cele scrise se observă că forma matricilor de trecere ${}^iA_{i+1}$ depinde de alegerea ca axă de rotație sau translație a uneia dintre axele Ox , Oy sau Oz ale sistemelor de referință. În acest sens există mai multe convenții privitoare la modul de atașare a axelor de referință la axele cuplelor cinematice dintre care cea mai cunoscută este **convenția Hartenberg - Denavit** (HD), care permite determinarea relațiilor necesare programării roboților.

5.3 Convenția Hartenberg-Denavit

În conformitate cu prevederile convenției HD, axele de rotație sau de translație ale cuplelor cinematice se aleg ca axe Oz , iar direcția perpendicularei comune a două axe vecine, orientată de la $O_i z_i$ spre $O_{i+1} z_{i+1}$, se alege ca axă $O_i x_i$ conform figurii de mai jos.

Direcția și sensul axei $O_i x_i$ se stabilesc după regula burghiului drept.

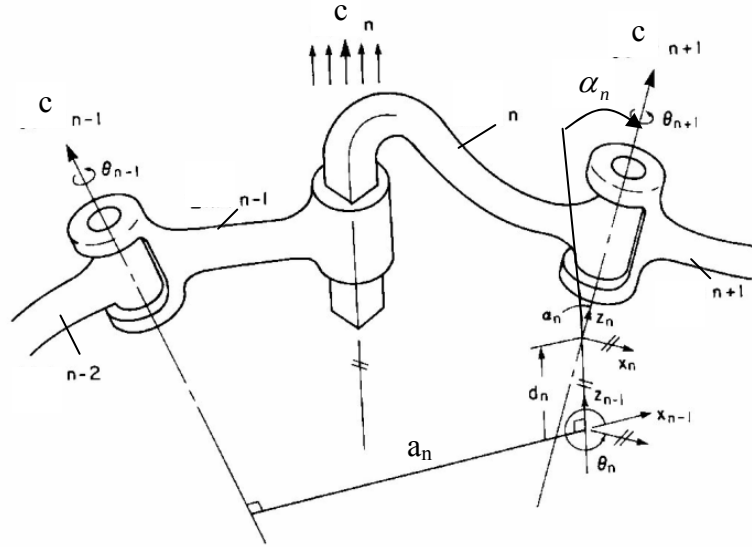


Fig. 5.4. Convenția Hartenberg Denavit pentru o cuplă cinematică conducătoare de translație.

Distanța " a_i " între axele cuplelor cinematice vecine se numește "offset", iar sistemul de referință O_i introdus prin convenția HD, este solidar cu elementul " i " al dispozitivului de ghidare, deplasându-se în timpul funcționării împreună cu acesta.

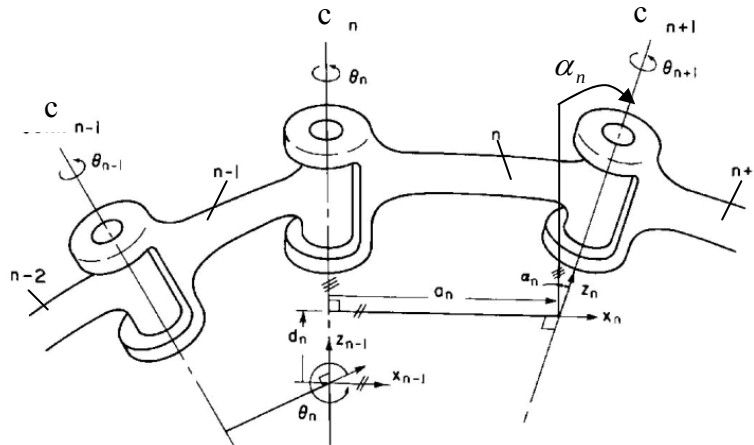


Fig. 5.5. Convenția Hartenberg Denavit pentru o cuplă cinematic conducătoare de rotație.

$$\begin{aligned}
 {}^{i-1}\underline{A}_i &= Rot(z_{i-1}, \theta_i) \cdot Trans(z_{i-1}, d_i) \cdot Trans(x_i, a_i) \cdot Rot(x_i, \alpha_i) \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & 0 \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & a_i \cos \alpha_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & a_i \sin \alpha_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

5.4 Analiza cinematică directă

Modelul geometric al robotului stabilește situațiile relative ale elementelor folosind, pe lângă sistemele de referință legate de elemente, și sisteme de referință intermediare, care să permită trecerea de la un sistem de referință la altul printr-o singură rotație sau translație.

În general, **analiza cinematică directă** a situației urmărește determinarea situației relative a efectorului final în raport cu baza robotului, folosind relații de forma celor scrise mai sus. La acest calcul se admit cunoscute situațiile relative ale elementelor dispozitivului de ghidare care sunt precizate prin intermediul coordonatelor generalizate ale cuplelor cinematice conducătoare q_j ($j = 1, 2, \dots, 6$), cu mențiunea că, prin coordonată generalizată a unei cuple cinematice conducătoare se înțelege parametrul care descrie situația relativă a elementelor sale. În acest sens, dacă cupla "j" este de rotație atunci $q_j = \theta_j$, iar dacă cupla "j" este de translație atunci $q_j = d_j$.

Cu matricile de transfer de la un sistem de referință la altul determinate se rezolvă cazul clasic al analizei cinematice directe și anume:

${}^{RI}T_{CF} = {}^{RI}A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \cdot {}^5A_6 \cdot {}^6A_{CF}$, ecuație ce se rezolvă ca un sistem de 6 ecuații cu datele de intrare coordonatele generalizate ale cuplelor cinematice conducătoare q_j ($j = 1, 2, \dots, 6$), rezultând situația punctului P în raport cu sistemul de coordonate 0.

În ecuația de mai sus ${}^{RI}T_{CF}$ este matricea de situare exprimată cu ajutorul versorilor:

$\bar{a}$ - versor de apropiere;

$\bar{o}$ - versor de orientare;

$\bar{n} = \bar{o} \times \bar{a}$ - versorul care definește baza ortonormată;

$${}^{RI}T_{CF} = \begin{bmatrix} \bar{n} & \bar{o} & \bar{a} & \bar{p} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$\bar{p}$ - vectorul de poziție al originii sistemului de referință atașat capului de forță, exprimat în baza robotului.

$$\begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & {}^0p_x \\ n_y & o_y & a_y & {}^0p_y \\ n_z & o_z & a_z & {}^0p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{ unde elementele matricii de situare aflată în}$$

membrul doi al egalității sunt funcții cunoscute de coordonatele generalizate ale DG de forma:

$$f_{kl} = f_{kl}(q_j) \quad (k = 1, 2, 3; \quad i = 1, 2, 3, 4; \quad j = 1, \dots, 6).$$

Din egalarea elementelor similare ale celor două matrici se obține sistemul de ecuații:

$$\begin{cases} n_x = f_{11}(q_j) \\ o_x = f_{12}(q_j) \\ \dots\dots\dots \\ {}^0p = f_{34}(q_j) \end{cases}, \text{ soluții ale matricii de situare.}$$

5.5 Analiza cinematică inversă

În cadrul acestui subiect va fi tratată **analiza cinematică inversă** a dispozitivului de ghidare al roboților, care stă de fapt la baza programării roboților industriali. Pornind de la situația efectorului final la un moment dat, indicată prin intermediul matricii de situare, se vor determina coordonatele generalizate q_i ale cuplelor cinematice conducătoare în acel moment, problemă care se rezolvă pornind de la egalitatea matricilor:

${}^{RI}T_{CF} = {}^{RI}A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \cdot {}^5A_6 \cdot {}^6A_{CF}$ din care, înmulțind succesiv la stânga cu inversele matricelor ${}^{i-1}A_i$ se obțin succesiv egalitățile:

$$\begin{aligned} {}^{RI}A_1^{-1} \cdot {}^{RI}T_{CF} &= {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \cdot {}^5A_6 \cdot {}^6A_{CF} \\ {}^1A_2^{-1} \cdot {}^{RI}A_1^{-1} \cdot {}^{RI}T_{CF} &= {}^2A_3 \cdot {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \cdot {}^5A_6 \cdot {}^6A_{CF} \\ &\vdots \end{aligned}$$

Produsele matriceale din membrul drept și stâng al egalității conduc la relații de forma:

$$\begin{bmatrix} f_1(\bar{n}) & f_1(\bar{o}) & f_1(\bar{a}) & f_1(\bar{p}) \\ f_2(\bar{n}) & f_2(\bar{o}) & f_2(\bar{a}) & f_2(\bar{p}) \\ f_3(\bar{n}) & f_3(\bar{o}) & f_3(\bar{a}) & f_3(\bar{p}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Egalând elementele celor două matrice: $f_1(\bar{n}) = h_{11}$, $f_1(\bar{o}) = h_{12}$, ș.a.m.d. Rezultă ecuațiile de determinare a coordonatelor generalizate q_i , $i=1, \dots, 6$.

Elementele matricei din membrul stâng sunt dependente numai de coordonatele generalizate q_i

$$f_1 = f_1(q_i).$$

Elementele matricei din membrul drept sunt dependente numai de coordonatele generalizate $q_{j-1}, q_{j-2}, q_{j-3}, \dots, q_1$

$$h_{ij} = h_{ij}(q_{j-1}, q_{j-2}, \dots, q_1) \quad i=1, \dots, 3, j=1, \dots, 4.$$

Calculule aferente analizei cinematice inverse vor fi exemplificate pentru mecanismul generator de traiectorii al unui robot în coordonate cilindrice prezentat în figura de mai jos:

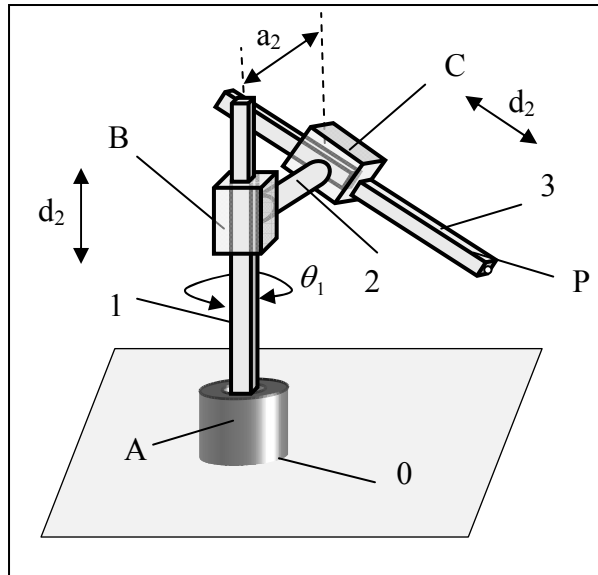


Fig. 5.7. Robot în coordonate cilindrice.

Știm că mecanismul generator de traiectorii servește la poziționarea punctului caracteristic al robotului, P. Pentru a descrie matematic poziționarea acestuia ar trebui să se rețină din egalarea matricilor de situație și funcție de coordonatele generalizate doar egalitatea referitoare la submatricea de poziționare egalitatea:

$$\begin{bmatrix} {}^0 p_x \\ {}^0 p_y \\ {}^0 p_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_2 c_1 - d_3 s_1 \\ a_2 s_1 + d_3 c_1 \\ d_2 \\ 1 \end{bmatrix}, \text{ din care se obține un sistem cu trei necunoscute, compatibil în raport}$$

cu cele trei necunoscute d_2 , d_3 și θ_1

$$\begin{cases} a_2 \cos \theta_1 - d_3 \sin \theta_1 = {}^0 p_x \\ a_2 \sin \theta_1 + d_3 \cos \theta_1 = {}^0 p_y \\ d_2 = {}^0 p_z \end{cases}.$$

A treia ecuație a acestui sistem soluționează necunoscuta d_2 prin valoarea cunoscută ${}^0 p_z$. Ridicând la pătrat și adunând primele două ecuații ale acestui sistem se obține:

$$d_3 = \sqrt{({}^0 p_x)^2 + ({}^0 p_y)^2 - a_2^2}.$$

Pentru determinarea ultimei necunoscute a sistemului de mai sus se va face substituția mărimilor conform schiței de mai jos:

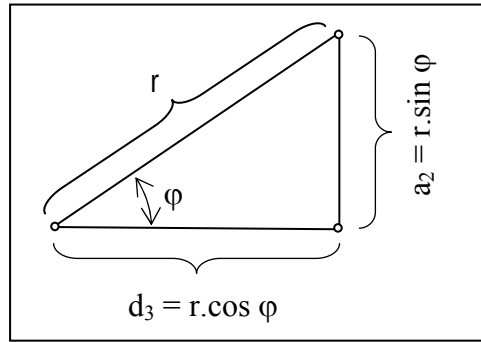


Fig. 5.8. Deducerea lui θ_1 .

$$\left. \begin{aligned} \sin(\theta_1 + \varphi) &= \frac{{}^0 p_x}{r} = \frac{{}^0 p_x}{\sqrt{d_3^2 + a_2^2}} \\ \theta_1 + \varphi &= \arcsin \frac{{}^0 p_x}{\sqrt{d_3^2 + a_2^2}} \\ \varphi &= \arctg \frac{a_2}{d_3} \end{aligned} \right\} \theta_1 = \arcsin \frac{{}^0 p_x}{\sqrt{d_3^2 + a_2^2}} - \arctg \frac{a_2}{d_3}.$$

Deci, pentru cazul analizat, s-au determinat mărimile coordonatelor generalizate ale cuplelor cinemate conducătoare din sistem, la momentul în care situarea punctului caracteristic este dată de matricea de stare

$${}^{RI} \underline{T}_{CF} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & {}^0 p_x \\ n_y & o_y & a_y & {}^0 p_y \\ n_z & o_z & a_z & {}^0 p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ cunoscută.}$$

Lucrarea de laborator nr.6.**6. Modelarea geometrică a mecanismelor generatoare de traiectorie****6.1 Scopul lucrării**

Lucrarea de laborator are ca obiective prezentarea structurilor mecanismelor generatoare de traiectorie:

- în coordonate carteziene (TTT);
- în coordonate cilindrice (RTT);
- în coordonate sferice (RRT);
- robot antropomorf (RRR).

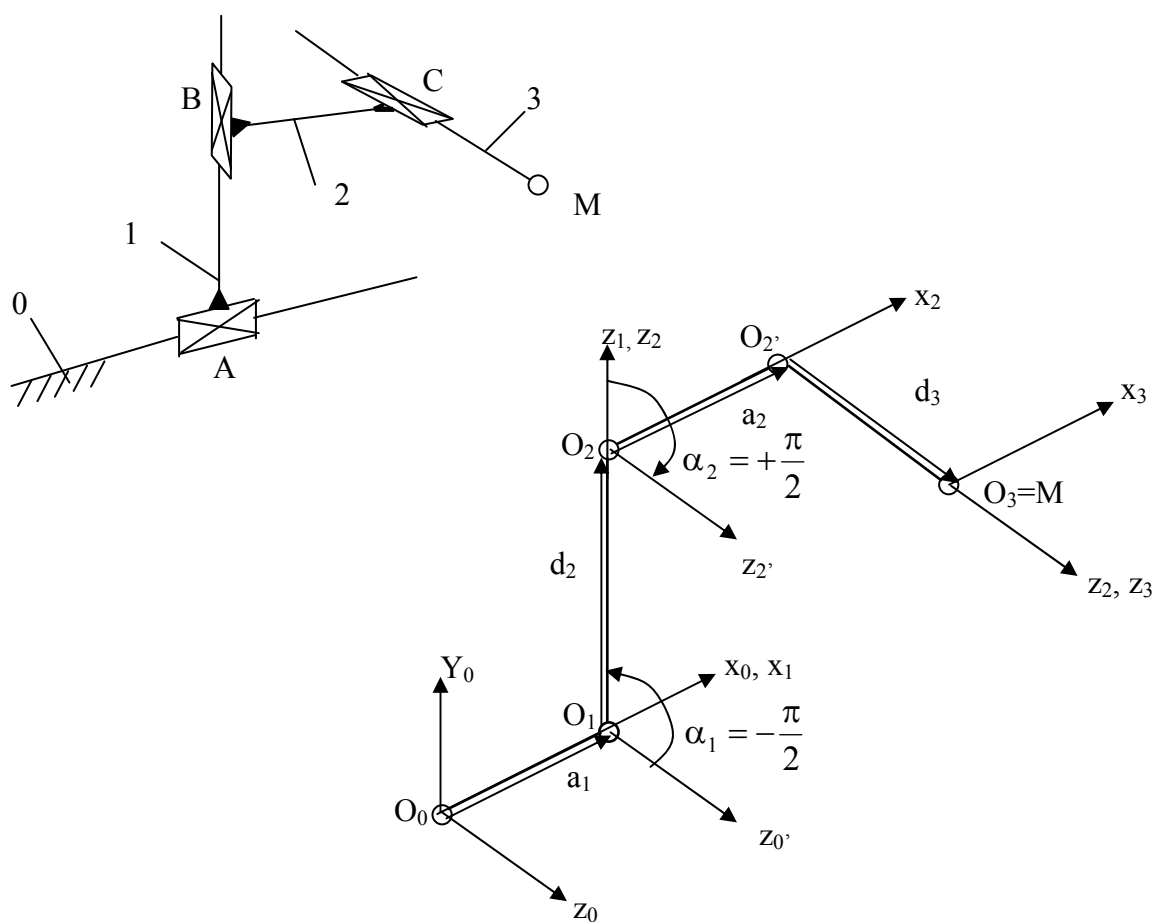
6.2 Robot în coordonate carteziene

Fig. 6.1. Robot în coordonate carteziene.

<i>Cuplă</i> \ <i>Parametru</i>	θ	d	a	α
0 - 1	0	0	a_1	$-\frac{\pi}{2}$
1 - 2	0	d_2	a_2	$+\frac{\pi}{2}$
2 - 3	0	d_3	0	0

${}^0T_3 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3$, unde:

$${}^0A_1 = \text{Trans}(x_1, a_1) \cdot \text{Rot}(x_1, -\frac{\pi}{2})$$

$${}^1A_2 = \text{Trans}(z_2, d_2) \cdot \text{Trans}(x_2, a_2) \cdot \text{Rot}(x_2, +\frac{\pi}{2})$$

$${}^2A_3 = \text{Trans}(z_3, d_3)$$

6.3 Robot în coordonate cilindrice

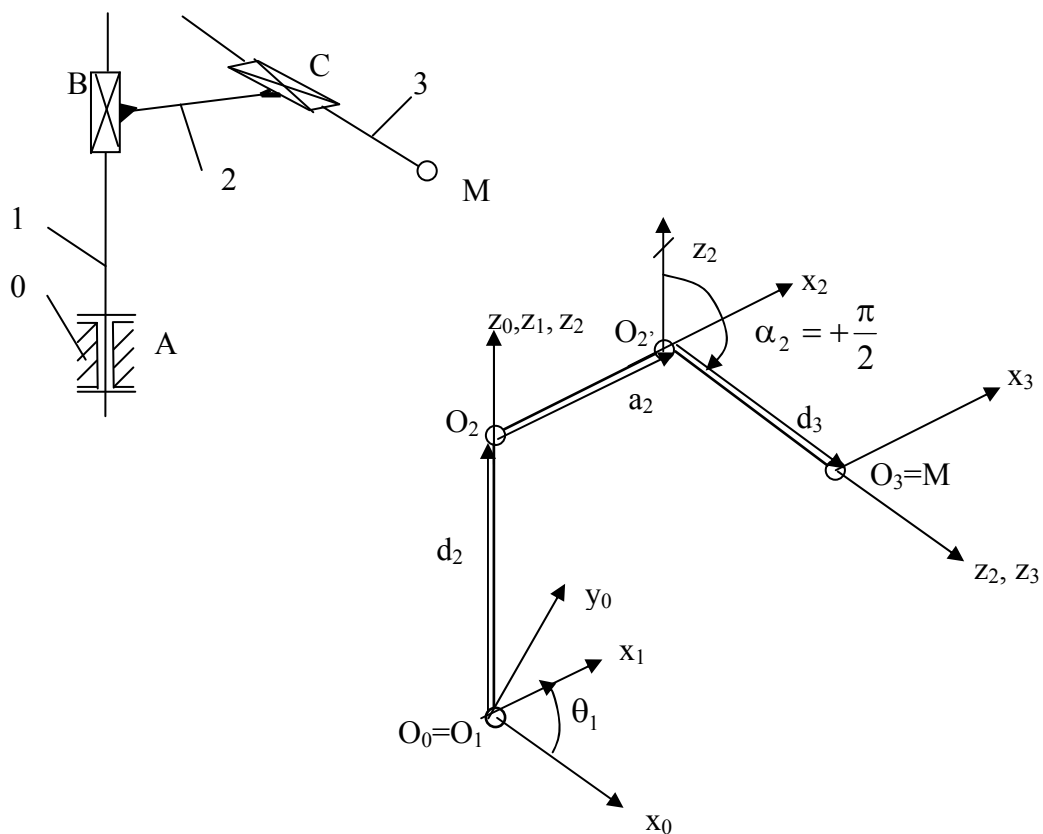


Fig. 6.2. Robot în coordonate cilindrice.

Cuplă \ Parametru	θ	d	a	α
0 - 1	θ_1	0	0	0
1 - 2	0	d_2	a_2	$+\frac{\pi}{2}$
2 - 3	0	d_3	0	0

${}^0T_3 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3$, unde:

$${}^0A_1 = Rot(z_1, \theta_1)$$

$${}^1A_2 = Trans(z_2, d_2) \cdot Trans(x_2, a_2) \cdot Rot(x_2, +\frac{\pi}{2})$$

$${}^2A_3 = Trans(z_3, d_3)$$

6.4 Robot în coordonate sferice

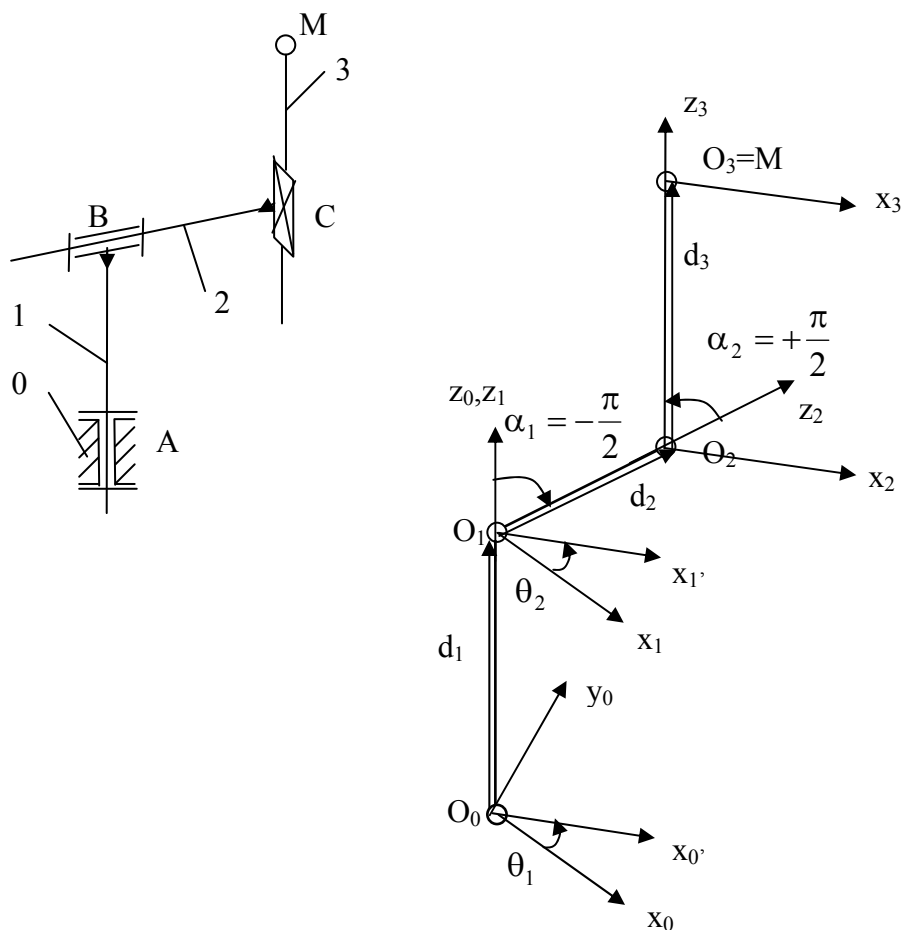


Fig. 6.3. Robot în coordonate sferice.

Cuplă \ Parametru	θ	d	a	α
0 - 1	θ_1	d_1	0	$-\frac{\pi}{2}$
1 - 2	θ_2	d_2	0	$+\frac{\pi}{2}$
2 - 3	0	d_3	0	0

${}^0T_3 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3$, unde:

$${}^0A_1 = Rot(z_1, \theta_1) \cdot Trans(z_1, d_1) \cdot Rot(x_1, -\frac{\pi}{2})$$

$${}^1A_2 = Rot(z_2, \theta_2) \cdot Trans(z_2, d_2) \cdot Rot(x_2, +\frac{\pi}{2})$$

$${}^2A_3 = Trans(z_3, d_3)$$

6.5 Robot antropomorf

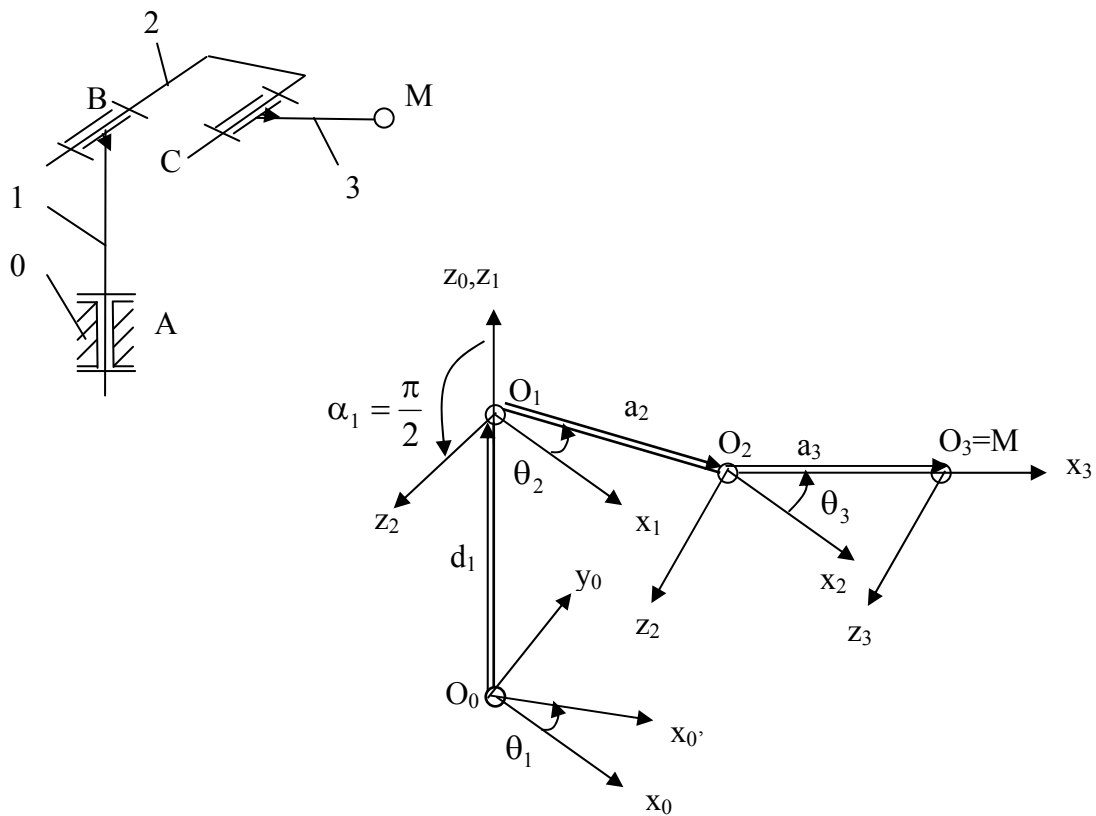


Fig. 6.4. Robot antropomorf.

Cuplă \ Parametru	θ	d	a	α
0 - 1	θ_1	d_1	0	$+\frac{\pi}{2}$
1 - 2	θ_2	0	a_2	0
2 - 3	θ_3	0	a_3	0

${}^0T_3 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3$, unde:

$${}^0A_1 = Rot(z_1, \theta_1) \cdot Trans(z_1, d_1) \cdot Rot(x_1, +\frac{\pi}{2})$$

$${}^1A_2 = Rot(z_2, \theta_2) \cdot Trans(x_2, a_2)$$

$${}^2A_3 = Rot(z_3, \theta_3) \cdot Trans(x_3, a_3)$$

Lucrarea de laborator nr.7.**7. Modelarea geometrică a mecanismelor de orientare****7.1 Scopul lucrării**

Lucrarea de laborator are ca obiective prezentarea structurilor mecanismelor de orientare:

- tip RPY;
- utilizarea unghiurilor Brayant.

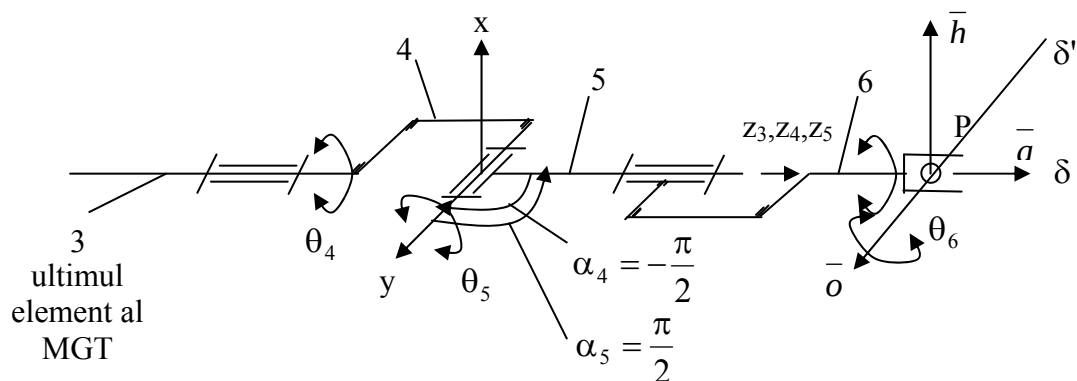
7.2 Mecanismul de orientare RRR tip RPY

Fig. 7.1. Mecanismul de porientare RRR tip RPY.

Parametru	θ	d	a	α
Cuplă				
3 - 4	θ_4	0	0	$-\frac{\pi}{2}$
4 - 5	θ_5	0	0	$\frac{\pi}{2}$
5 - 6	θ_6	0	0	0

${}^3T_6 = {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \cdot {}^5A_6$, unde:

$${}^3T_4 = Rot(z_4, \theta_4) \cdot Rot(x, -\frac{\pi}{2})$$

$${}^4T_5 = Rot(z_5, \theta_5) \cdot Rot(x, +\frac{\pi}{2})$$

$${}^5T_6 = Rot(z_6, \theta_6)$$

7.3 Mecanismul de orientare RRR utilizând unghiurile Bryant

Fig. 7.2. Mecanism de orientare RRR utilizând unghiurile lui Bryant.

Lucrarea de laborator nr.8.

8. Stabilirea datelor pentru stocarea în baza de date a robotului în aplicația RobSim

8.1 Scopul lucrării de laborator

Lucrarea de laborator are ca obiective:

- indicarea datelor necesare stocării în baza de date a robotului;
- explicitarea pașilor ce trebuiesc executați și a fișierelor ce trebuiesc accesate în acest sens;
- verificarea bazei de date (dacă este completă);
- verificarea grafică a structurii realizate a robotului, spre exemplu prin programarea la nivelul cuplelor cinematice conducătoare.

8.2 Datele necesare stocării robotului în baza de date

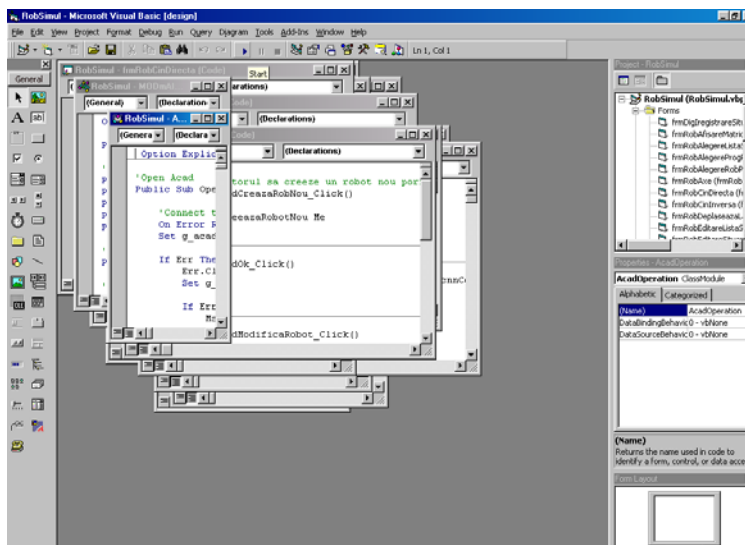
Datele concrete necesare inițial în realizarea structurii robotului sunt datele din modelarea geometrică a robotului și anume:

- dimensiunile robotului;
- distanțele offset;
- sistemele de referință asociate elementelor, puse după convenția Hartenberg-Denavit. A se vedea figurile 3.2.a) și 3.2.b). Aceste date vor fi utilizate în continuare pentru crearea modelului 3D al robotului în mediul AutoCad.

8.3 . Etapele realizării robotului

Etapele ce se impun a fi parcurse în modelarea structurii robotului în aplicația RobSim sunt:

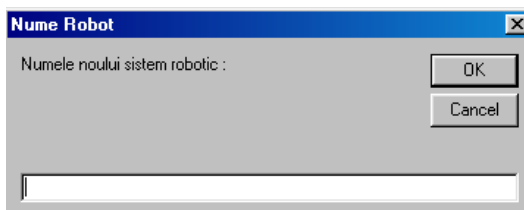
- lansarea în execuție a aplicației RobSim prin activarea fișierului RobSimul.vbp din .../RobSim/FisiereVB/ RobSimul.vbp;
- activarea butonului START - ► din mediul VB;



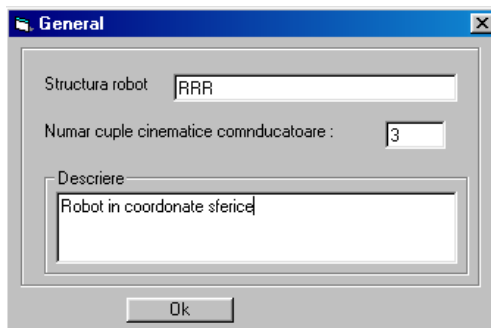
- alegerea opțiunii “Crează robot nou” din meniul “Robot”;



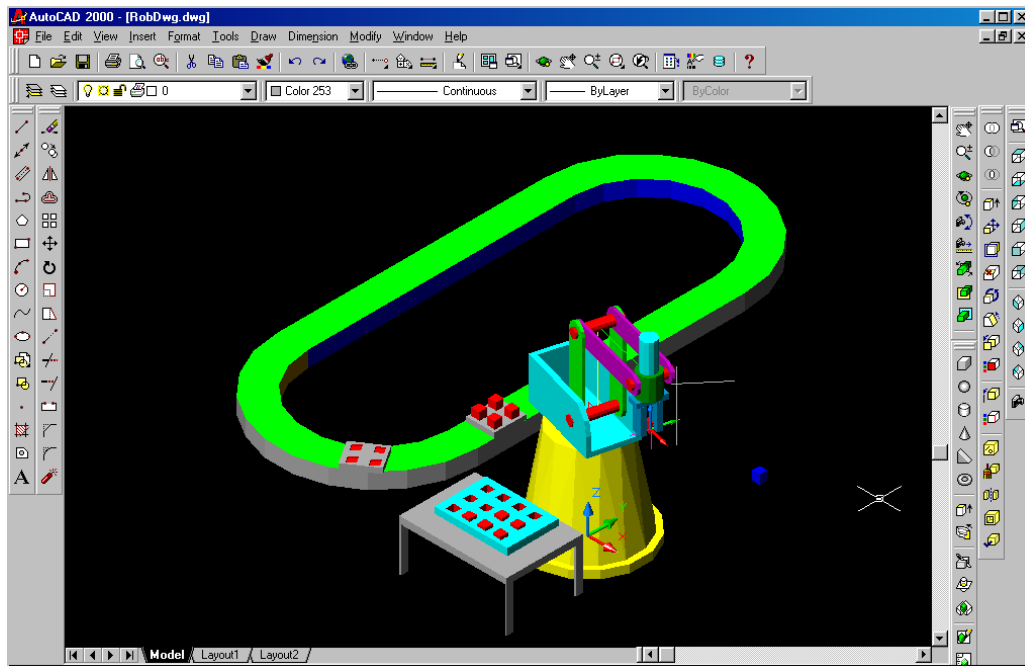
- indicarea numelui robotului care urmează a fi desenat (se va da ca nume al robotului numele realizatorului desenului. De exemplu: “Adam Alexandru”);



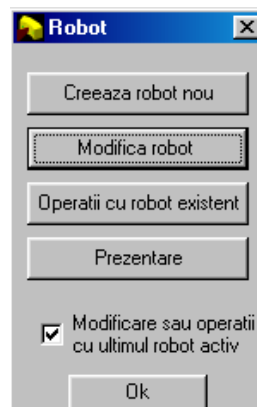
- se vor indica: structura robotului (RRR, TTT, RTT, RRT pentru mecanismul generator de traiectorii, respectiv RRR pentru mecanismul de orientare, deci, RRRRRR,...), numărul cuplelor cinematice conducătoare ale acestuia (3, 4, 5) și o scurtă descriere a robotului;
Observație: pentru operațiile care se vor realiza în continuare este decisivă indicarea numărului cuplelor cinematice conducătoare.



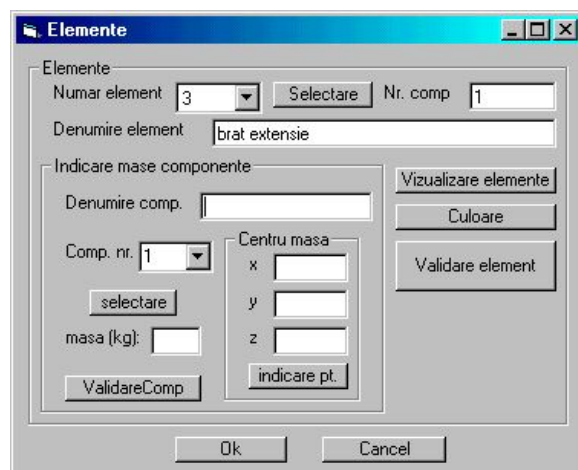
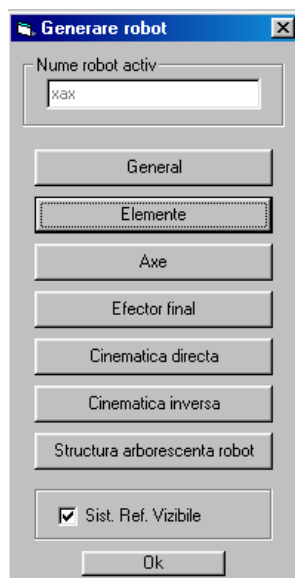
- urmează desenarea structurii robotului în AutoCad;



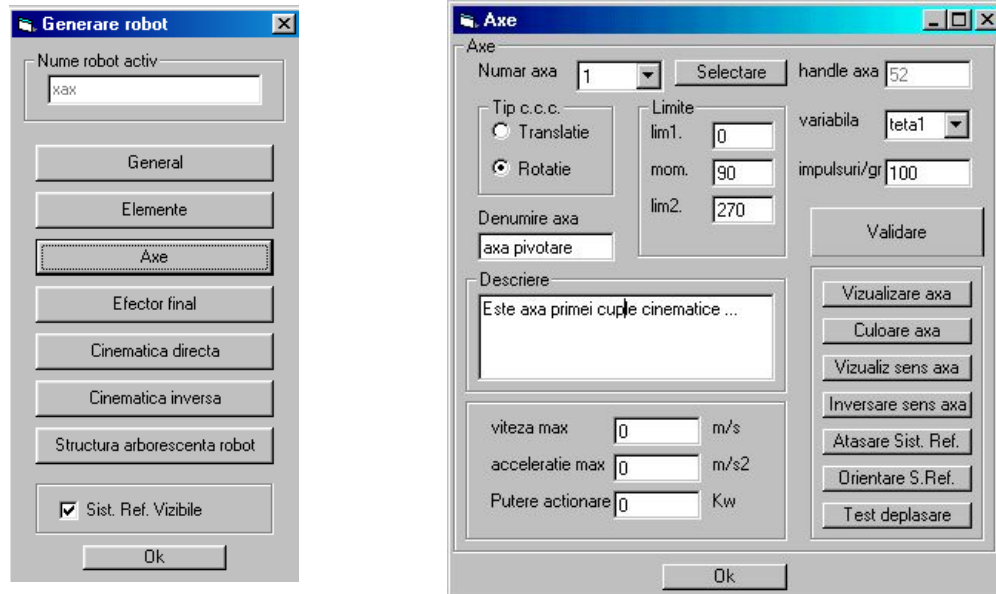
- din meniul “Robot” se va selecta opțiunea “modifică robot”;



- se vor indica elementele robotului:



- se vor indica axele robotului:



- modelarea mecanismului de prehensiune:



După respectarea acestor pași, folosind programarea la nivelul cuplelor cinematice conducătoare se poate verifica dacă robotul realizat respectă datele impuse. Spre exemplu, dacă se comandă deplasare unghiulară cu 30^0 pe axa 3, modelul AutoCad trebuie să efectueze o rotație după axa 3 cu valoarea indicată).



Lucrarea de laborator nr.9.**9. Modelarea cinematică directă a mecanismului generator de traiectorii****9.1. Scopul lucrării de laborator**

Lucrarea de laborator are ca obiective:

- completarea cunoștințelor studenților referitoare la noțiunea de analiză cinematică directă;
- stabilirea formulelor de calcul a matricii de transformare pentru mecanismul generator de traiectorii folosind analiza cinematică directă.

9.2. Analiza cinematică directă a mecanismelor generatoare de traiectorii**9.2.1 Robot în coordonate carteziane**

A se vedea figura 6.1. din cadrul lucrării 6 în care este prezentată structura unui robot în coordonate carteziane.

<i>Parametru</i> <i>Cuplă</i>	θ	d	a	α
0 - 1	0	0	a_1	$-\frac{\pi}{2}$
1 - 2	0	d_2	a_2	$+\frac{\pi}{2}$
2 - 3	0	d_3	0	0

${}^0T_3 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3$, unde:

$${}^0A_1 = \text{Trans}(x_1, a_1) \cdot \text{Rot}(x_1, -\frac{\pi}{2})$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2 = \text{Trans}(z_2, d_2) \cdot \text{Trans}(x_2, a_2) \cdot \text{Rot}(x_2, +\frac{\pi}{2})$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2A_3 = \text{Trans}(z_3, d_3)$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0T_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 + a_2 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pentru rezolvarea problemei cinematico-poziționale directe se pornește de la relația:

${}^R T_{EF} = {}^0 T_3$, adică:

$$\begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & {}^0 p_x \\ n_y & o_y & a_y & {}^0 p_y \\ n_z & o_z & a_z & {}^0 p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 + a_2 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Valorile a_1 , a_2 , d_2 și d_3 sunt cunoscute și se vor determina elementele matricii de situare:

$$\begin{aligned} n_x &= 1 & o_x &= 0 & a_x &= 0 & {}^0 p_x &= a_1 + a_2 \\ n_y &= 0 & o_y &= 1 & a_y &= 0 & {}^0 p_y &= d_2 \\ n_z &= 0 & o_z &= 0 & a_z &= 1 & {}^0 p_z &= d_3 \end{aligned}$$

9.2.2 Robot în coordonate cilindrice

A se vedea figura 6.2. din cadrul lucrării 6 în care este prezentată structura unui robot în coordonate cilindrice.

<i>Cuplă \ Parametru</i>	θ	d	a	α
0 - 1	θ_1	0	0	0
1 - 2	0	d_2	a_2	$+\frac{\pi}{2}$
2 - 3	0	d_3	0	0

${}^0T_3 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3$, unde:

${}^0A_1 = Rot(z_1, \theta_1)$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$c_1 = \cos \theta_1$$

$$s_1 = \sin \theta_1$$

${}^1A_2 = Trans(z_2, d_2) \cdot Trans(x_2, a_2) \cdot Rot(x_2, +\frac{\pi}{2})$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

${}^2A_3 = Trans(z_3, d_3)$

$${}^2\mathbf{A}_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0\mathbf{T}_3 = \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & s_1 & s_1 d_3 + c_1 a_2 \\ s_1 & 0 & -c_1 & -c_1 d_3 + s_1 a_2 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

${}^R\mathbf{T}_{EF} = {}^0\mathbf{T}_3$, adică:

$$\begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & {}^0p_x \\ n_y & o_y & a_y & {}^0p_y \\ n_z & o_z & a_z & {}^0p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & s_1 & s_1 d_3 + c_1 a_2 \\ s_1 & 0 & -c_1 & -c_1 d_3 + s_1 a_2 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Deci:

$$\begin{array}{llll} n_x = c_1 & o_x = 0 & a_x = s_1 & {}^0p_x = d_3 s_1 + c_1 a_2 \\ n_y = s_1 & o_y = 0 & a_y = -c_1 & {}^0p_y = -d_3 c_1 + s_1 a_2 \\ n_z = 0 & o_z = 1 & a_z = 1 & {}^0p_z = d_2 \end{array}$$

9.2.3 Robot în coordonate sferice

A se vedea figura 6.3. din cadrul lucrării 6 în care este prezentată structura unui robot în coordonate sferice.

Cuplă \ Parametru	θ	d	a	α
0 - 1	θ_1	d_1	0	$-\frac{\pi}{2}$
1 - 2	θ_2	d_2	0	$+\frac{\pi}{2}$
2 - 3	0	d_3	0	0

${}^0\mathbf{T}_3 = {}^0\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_3$, unde:

$${}^0\mathbf{A}_1 = \text{Rot}(z_1, \theta_1) \cdot \text{Trans}(z_1, d_1) \cdot \text{Rot}(x_1, -\frac{\pi}{2})$$

$${}^0\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & -s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & c_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1\mathbf{A}_2 = \text{Rot}(z_2, \theta_2) \cdot \text{Trans}(z_2, d_2) \cdot \text{Rot}(x_2, +\frac{\pi}{2})$$

$${}^1\underline{A}_2 = \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & 0 \\ s_2 & c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_2 & 0 & s_2 & 0 \\ s_2 & 0 & -c_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$c_2 = \cos \theta_2$$

$$s_2 = \sin \theta_2$$

$${}^2\underline{A}_3 = \text{Trans}(z_3, d_3)$$

$${}^2\underline{A}_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0\underline{T}_3 = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & -s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & c_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_2 & 0 & s_2 & 0 \\ s_2 & 0 & -c_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 c_2 & -s_2 & c_1 s_2 & c_1 s_2 d_3 - s_1 d_2 \\ s_1 c_2 & c_1 & s_1 s_2 & s_1 s_2 d_3 + c_1 d_2 \\ -s_2 & 0 & c_2 & c_2 d_3 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^R\underline{T}_{EF} = {}^0\underline{T}_3, \text{ adică:}$$

$$\begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & {}^0p_x \\ n_y & o_y & a_y & {}^0p_y \\ n_z & o_z & a_z & {}^0p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 c_2 & -s_2 & c_1 s_2 & c_1 s_2 d_3 - s_1 d_2 \\ s_1 c_2 & c_1 & s_1 s_2 & s_1 s_2 d_3 + c_1 d_2 \\ -s_2 & 0 & c_2 & c_2 d_3 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Deci:

$$\begin{array}{llll} n_x = c_1 c_2 & o_x = -s_2 & a_x = c_1 s_2 & {}^0p_x = c_1 s_2 d_3 - s_1 d_2 \\ n_y = s_1 c_2 & o_y = c_1 & a_y = s_1 s_2 & {}^0p_y = s_1 s_2 d_3 + c_1 d_2 \\ n_z = -s_2 & o_z = 0 & a_z = c_2 & {}^0p_z = c_2 d_3 + d_1 \end{array}$$

9.2.4 Robot antropomorf

A se vedea figura 6.4. din cadrul lucrării 6 în care este prezentată structura unui robot antropomorf.

<i>Cuplă</i> \ <i>Parametru</i>	θ	d	a	α
0 - 1	θ_1	d_1	0	$+\frac{\pi}{2}$
1 - 2	θ_2	0	a_2	0
2 - 3	θ_3	0	a_3	0

$${}^0\underline{T}_3 = {}^0\underline{A}_1 \cdot {}^1\underline{A}_2 \cdot {}^2\underline{A}_3, \text{ unde:}$$

$${}^0\underline{A}_1 = \text{Rot}(z_1, \theta_1) \cdot \text{Trans}(z_1, d_1) \cdot \text{Rot}(x_1, +\frac{\pi}{2})$$

$${}^0\underline{A}_1 = \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & -c_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1\underline{A}_2 = Rot(z_2, \theta_2) \cdot Trans(x_2, a_2)$$

$${}^1\underline{A}_2 = \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & 0 \\ s_2 & c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & c_2 a_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & s_2 a_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2\underline{A}_3 = Rot(z_3, \theta_3) \cdot Trans(x_3, a_3)$$

$${}^2\underline{A}_3 = \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & 0 \\ s_3 & c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & c_3 a_3 \\ s_3 & c_3 & 0 & s_3 a_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$c_3 = \cos \theta_3$$

$$s_3 = \sin \theta_3$$

$${}^0\underline{T}_3 = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & -c_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & c_2 a_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & s_2 a_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & c_3 a_3 \\ s_3 & c_3 & 0 & s_3 a_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$${}^0\underline{T}_3 = \begin{bmatrix} c_1 c_{23} & -c_1 c_{23} & s_1 & c_1 (a_3 c_{23} + a_2 c_2) \\ s_1 c_{23} & -s_1 s_{23} & -c_1 & s_1 (a_3 c_{23} + a_2 c_2) \\ s_{23} & c_{23} & 0 & a_3 s_{23} + a_2 s_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & {}^0p_x \\ n_y & o_y & a_y & {}^0p_y \\ n_z & o_z & a_z & {}^0p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 c_{23} & -c_1 c_{23} & s_1 & c_1 (a_3 c_{23} + a_2 c_2) \\ s_1 c_{23} & -s_1 s_{23} & -c_1 & s_1 (a_3 c_{23} + a_2 c_2) \\ s_{23} & c_{23} & 0 & a_3 s_{23} + a_2 s_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$n_x = c_1 c_{23} \quad o_x = -c_1 c_{23} \quad a_x = s_1 \quad p_x = c_1 (a_3 c_{23} + a_2 c_2)$$

$$n_y = s_1 c_{23} \quad o_y = -s_1 s_{23} \quad a_y = -c_1 \quad p_y = s_1 (a_3 c_{23} + a_2 c_2)$$

$$n_z = s_{23} \quad o_z = c_{23} \quad a_z = 0 \quad p_z = a_3 s_{23} + a_2 s_2 + d_1$$

Lucrarea de laborator nr.10.**10. Modelarea cinematică directă a mecanismului generator de traiectorii****10.1. Scopul lucrării de laborator**

Lucrarea de laborator are ca obiective:

- completarea cunoștințelor studenților referitoare la noțiunea de analiză cinematică directă;
- stabilirea formulelor de calcul pentru matricea de transformare pentru mecanismul de orientare folosind analiza cinematică directă.

10.2. Determinarea matricii de transformare omogenă a mecanismelor de orientare**10.2.1 Mecanismul de orientare RPY**

A se vedea figura 7.1. din cadrul lucrării 7 în care este prezentat mecanismul de orientare RRR tip RPY.

$${}^3T_6 = {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \cdot {}^5A_6, \text{ unde:}$$

$${}^3T_4 = Rot(z_4, \theta_4) \cdot Rot(x, -\frac{\pi}{2})$$

$${}^4T_5 = Rot(z_5, \theta_5) \cdot Rot(x, +\frac{\pi}{2})$$

$${}^5T_6 = Rot(z_6, \theta_6)$$

$${}^3T_6 = {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \cdot {}^5A_6, \text{ unde:}$$

$${}^3T_4 = Rot(z_4, \theta_4) \cdot Rot(x, -\frac{\pi}{2})$$

$${}^3T_4 = \begin{bmatrix} c_4 & -s_4 & 0 & 0 \\ s_4 & c_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_4 & 0 & -s_4 & 0 \\ s_4 & 0 & c_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^4T_5 = Rot(z_5, \theta_5) \cdot Rot(x, +\frac{\pi}{2})$$

$${}^4T_5 = \begin{bmatrix} c_5 & -s_5 & 0 & 0 \\ s_5 & c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_5 & 0 & s_5 & 0 \\ s_5 & 0 & -c_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^5T_6 = Rot(z_6, \theta_6)$$

$${}^5T_6 = \begin{bmatrix} c_6 & -s_6 & 0 & 0 \\ s_6 & c_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dacă, pentru simplificarea exprimării, s-au făcut notațiile:

$$c_4 = \cos \theta_4$$

$$c_5 = \cos \theta_5$$

$$c_6 = \cos \theta_6$$

$$s_4 = \sin \theta_4$$

$$s_5 = \sin \theta_5$$

$$s_6 = \sin \theta_6$$

$${}^3T_6 = \begin{bmatrix} c_4c_5c_6 - s_4s_6 & -c_4c_5s_6 - s_4c_6 & c_4s_5 & 0 \\ s_4c_5c_6 + c_4c_6 & -s_4c_5s_6 - c_4c_6 & s_4s_5 & 0 \\ -s_5c_6 & s_5s_6 & c_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rezolvarea problemei cinematică-poziționale directe se face prin soluționarea relației:

$${}^R T_{EF} = {}^3 T_6$$

$$\begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_4c_5c_6 - s_4s_6 & -c_4c_5s_6 - s_4c_6 & c_4s_5 & 0 \\ s_4c_5c_6 + c_4c_6 & -s_4c_5s_6 - c_4c_6 & s_4s_5 & 0 \\ -s_5c_6 & s_5s_6 & c_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pentru valorile cunoscute ale parametrilor θ_4 , θ_5 , θ_6 se determină elementele matricii de stare:

$$\begin{array}{llll} n_x = c_4c_5c_6 - s_4s_6 & o_x = -c_4c_5s_6 - s_4c_6 & a_x = c_4s_5 & p_x = 0 \\ n_y = s_4c_5c_6 + c_4c_6 & o_y = -s_4c_5s_6 - c_4c_6 & a_y = s_4s_5 & p_y = 0 \\ n_z = -s_5c_6 & o_z = s_5s_6 & a_z = c_5 & p_z = 0 \end{array}$$

10.2.2 Mecanisme de orientare RRR studiate cu unghiurile Bryant

A se vedea figura 7.2. din cadrul lucrării 7 în care este prezentat mecanismul de orientare RRR folosind unghiurile Bryant.

10.3. Matricea de transformare pentru roboți industriali

Rezolvarea problemei cinematico-poziționale directe în cazul unui robot industrial ridică unele dificultăți care pot fi ușor soluționate dacă se valorifică analiza cinematico-pozițională a mecanismelor componente, prezentată anterior.

Astfel, pentru un robot cu 6 grade de libertate se poate scrie:

$${}^0T_6 = {}^0T_3 \cdot {}^3T_6,$$

unde 0T_6 descrie situarea efectorului final în raport cu sistemul de referință fix.

Conform acestei relații:

$${}^0T_6 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \cdot {}^5A_6.$$

Lucrarea de laborator nr.11.**11. Simularea unei sarcini de fabricație****11.1. Scopul lucrării de laborator**

Lucrarea de laborator are ca obiective:

- verificarea corectitudinii și a volumului de date din baza de date;
- programarea robotului la nivel de axă, în regim de instruire;
- programarea robotului la nivel de axă folosind un editor de texte.

11.2. Introducere

Simularea sarcinii de fabricație presupune programarea prealabilă a robotului.

Prin acționarea butonului de comandă cmd3 din fig. 11.1. se deschide o casetă de dialog (fig. 11.2.) care permite accesul la facilitățile de programare a robotului virtual. Programarea robotului este posibilă în regim de instruire (la nivelul c.c.c sau la nivel de efector) și cu ajutorul unui editor simplu. Pentru programarea la nivel de c.c.c. nu este necesar să se efectueze calcule cinematice dar, prin atașarea sistemelor de referință, elementului fix al robotului și efectorului final este posibil să fie verificat calculul cinematic direct. Pentru programarea la nivel cartezian cu specificarea situărilor efectorului final este necesar ca anterior să fie realizat calculul cinematic invers pentru robotul care este simulat și aceste calcule să fie implementate în RobSim.

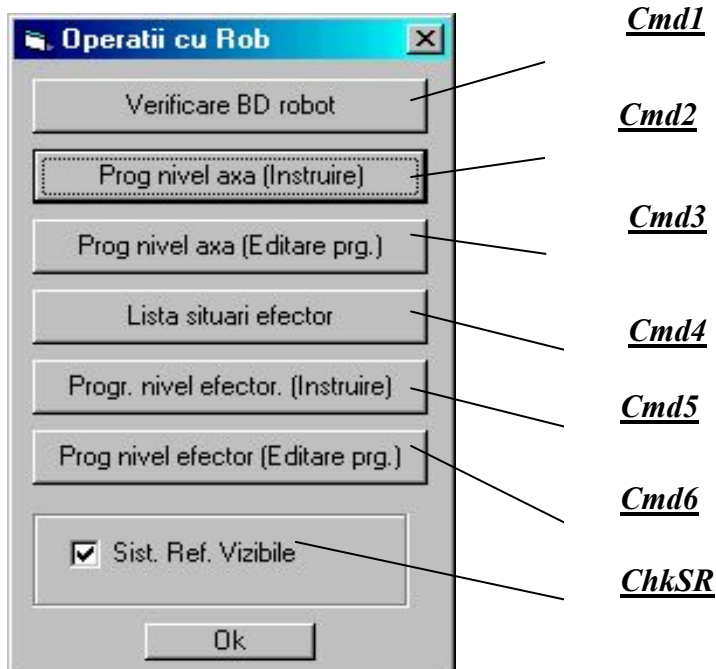


Fig. 11.1. Casetă de dialog pentru accesul la facilitățile de programare ale robotului virtual

11.2. Verificarea dacă baza de date a robotului este completă

Pentru ca robotul să poată fi programat este necesar ca toate datele minimale referitoare la elementele, axele și efectorul final al robotului să fie precizate (cmd1). Dacă programul semnalează că baza de date nu este completă se revine la “modificare robot” (cmd2, fig. 11.1.), se verifică elementele și axele și se completează datele necesare.

11.3. Programare la nivel de axa în regim de instruire

La acționarea butonului de comandă cmd2 din fig. 11.1., utilizatorul este solicitat să specifice numele programului care este același cu numele fișierului în caseta de dialog din fig. 11.2. Fișierul se deschide în mod adăugare, deci, dacă este indicat un nume de fișier existent, vor fi adăugate linii de cod în acel program.

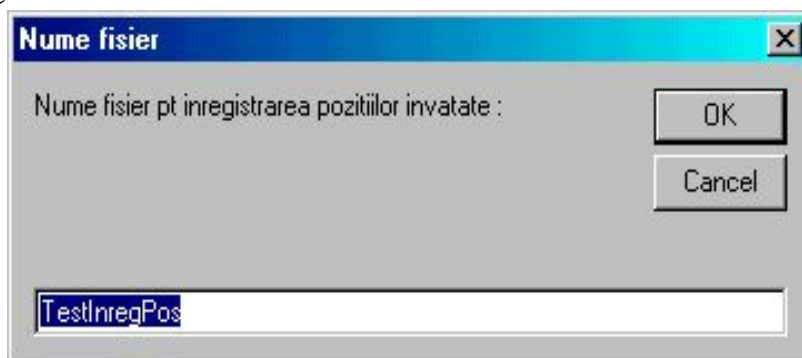


Fig. 11.2. Specificarea numelui programului realizat prin instruire

În urma indicării numelui programului se deschide o casetă de dialog, care simulează un panou de programare. Cupla cinematică curentă se alege din c.c.c. “curentă”. Sunt afișate atâtea cuple cinemactice câte au fost indicate de utilizator la crearea modelului de robot.



Fig. 11.3. Simularea unui panou de instruire pentru robotul virtual

Prin indicarea valorii în caseta de text “Valoare deplasare relativă comandată” urmată de acționarea butonului de comandă “Execută” sau cu ajutorul cursorului este schimbată situarea relativă a elementelor corespunzătoare cuplei cinematice curente.

Prin combinarea deplasărilor pe fiecare axă, efectorul final al robotului este adus în situarea dorită și prin acționarea butonului de comandă “Înregistrează” situarea curentă este salvată în fișier ca linie de program. Dacă este bifată caseta de validare “Nume pos.”, utilizatorului i se cere să specifice un nume pentru situarea respectivă. Indicarea de nume pentru situații este utilă deoarece permite urmărirea cu ușurință a programului.

La acționarea butonului de comandă “Acasă”, efectorul final al robotului este adus în poziția de acasă. Situarea relativă a elementelor cuplelor cinematice a fost specificată de utilizator pentru fiecare cuplă cinematică conducătoare în parte. Cu ajutorul butoanelor de comandă “Close Gripper” și “Open gripper” se realizează închiderea și respectiv deschiderea mecanismului de prehensiune. Comenzile “Acasă”, “Close Gripper” și “Open Gripper” se înregistrează automat în programul rezultat prin instruire și nu este nevoie de acționarea butonului de comandă “Execută”.

La închiderea mecanismului de prehensiune, obiectul modelat cu solide situat între bacuri este prehensat și poate fi deplasat. La deschiderea mecanismului de prehensiune, obiectul prehensat este eliberat.

Prin acționarea butonului de comandă “Matrice situare pentru SR” utilizatorul poate selecta în AutoCAD (dacă a fost specificat) blocul care reprezintă sistemul de referință și este afișată matricea de situare a acestui sistem de referință față de sistemul de referință fix atașat robotului. Această facilitate este importantă pentru posibilitatea de verificare a formulelor de calcul cinematic direct.

11.4. Programare la nivel de axă utilizând un editor

Editorul de program poate fi utilizat atât pentru scrierea programelor cât și pentru modificarea programelor rezultate în urma instruirii robotului. Prin acționarea butonului de comandă cmd3 din fig. 11.1. se deschide editorul fără nici un program (fig. 11.3.).

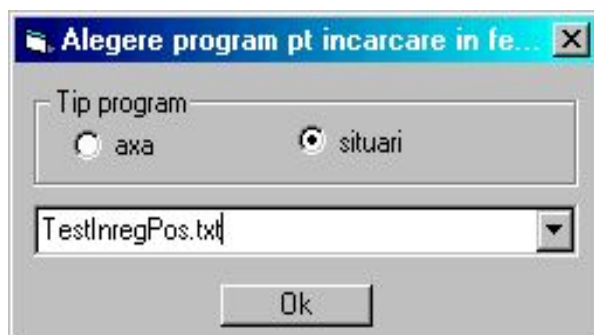


Fig. 11.4. Alegerea programului

Prin acționarea butonului de comandă “Încărcare program” (fig. 11.4.) este permisă alegerea programului.



Fig. 11.5. Editorul înainte de încărcarea programului.

În urma încărcării programului, acesta este afișat în editor (fig. 11.6.) și poate fi rulat sau modificat.



Fig.11.6. Editorul după încărcarea programului.

Lucrarea de laborator nr.12.**12. Noțiuni de PowerPoint necesare expunerii activității pe parcurs****12.1. Scopul lucrării de laborator**

Lucrarea de laborator are ca obiective:

- indicarea dezideratelor ce trebuie atinse în cadrul prezentării;
- crearea unei prezentări;
- link-uri pentru conexiuni cu alte documente;
- indicarea unui fundal pentru prezentare;
- realizarea animațiilor;
- utilizarea sunetelor într-o prezentare.

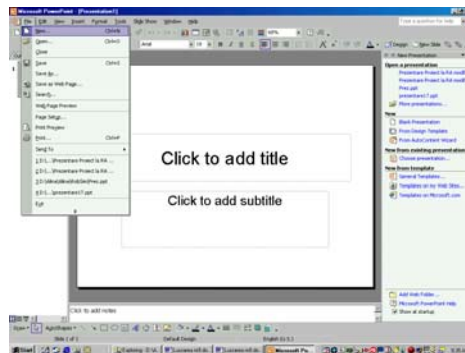
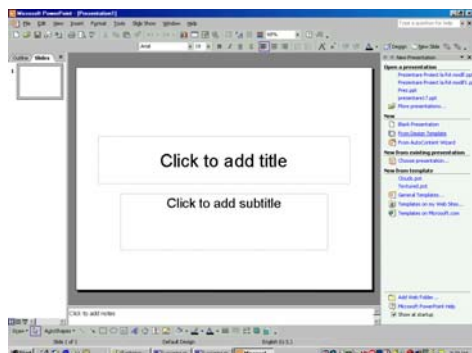
12.2. Ce trebuie să conțină prezentarea?

Prezentarea trebuie să reflecte toate problemele rezolvate, în decursul timpului, în cadrul lucrărilor de laborator ale materiei **Robotică avansată**. Astfel, se impun a fi prezentate slide-uri sugestive referitoare la:

- noțiuni elementare despre robot, robotică, funcțiile roboților, aplicații ale roboților;
- structura sistemului robotic, sistemul mecanic (dispozitivul de ghidare, dispozitivul de orientare);
- tipuri de modele în AutoCad, obiecte solide și operații cu acestea în AutoCad, desenul robotului cu parametri indicați;
- convenția Hartenberg-Denavit, caz generalizat și aplicată robotului din tema de proiect, inclusiv tabelul parametric;
- analiza cinematică directă, teorie și link la pagina MathCad cu rezolvarea problemei analizei cinematice directe;
- analiza cinematică inversă, teorie și link la pagina MathCad cu rezolvarea problemei analizei cinematice inverse;
- etapele realizării robotului în RobSim;
- programarea la nivelul c.c.c. în RobSim.

12.3. Crearea unei prezentări în mediul PowerPoint

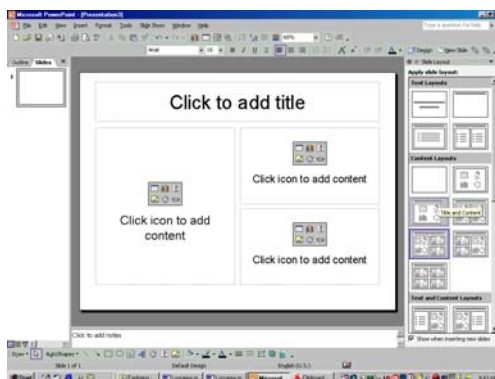
O nouă prezentare poate fi începută fie prin alegerea opțiunii **Template** din ecranul de deschidere PowerPoint, fie, dacă mediul PowerPoint este deschis, prin selectarea opțiunii **New** din meniul **File**.



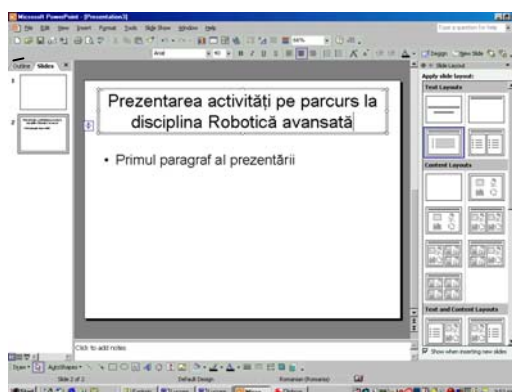
Caseta de dialog **New Slide** permite alegerea tipurilor de AutoLayout-uri (automachete) care se doresc a fi utilizate:

- Title Slide – diapozitivul pentru titlu;
- Bulleted List – listă cu marcate;
- 2 Column Text – două coloane text;
- table – tabel;
- text & Chart – text și diagramă;
- blank – alb, etc.

Adăugarea unui nou diapozitiv se face prin combinația de taste „**Ctrl + M**” sau **New Slide** din bara de meniu **Insert**.

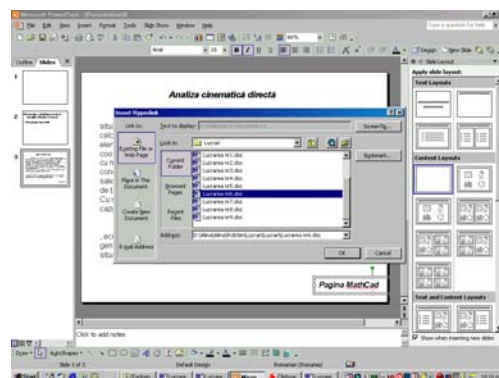
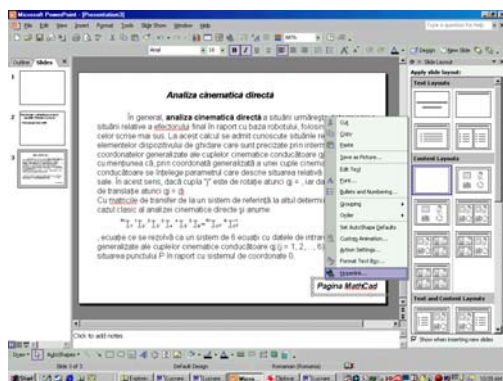


Pentru editarea unor texte în cadrul prezentării, după ce s-a făcut click în interiorul casetei de text se poate scrie textul dorit în interiorul chenarului hașurat sau se poate insera un TextBox. În interiorul acestor textbox-uri se poate edita text, la dimensiunile și fonturile dorite, se poate desena, insera tabel, insera organigramă, insera pictură, ... Referitor la efectele ce se pot aplica textelor, pe lângă opțiunile de **B** – bold, **I** – italic și **U** – underline, există și opțiunea **S** – pentru shadow – text cu umbră.



12.4. Link-uri pentru conexiuni cu alte documente

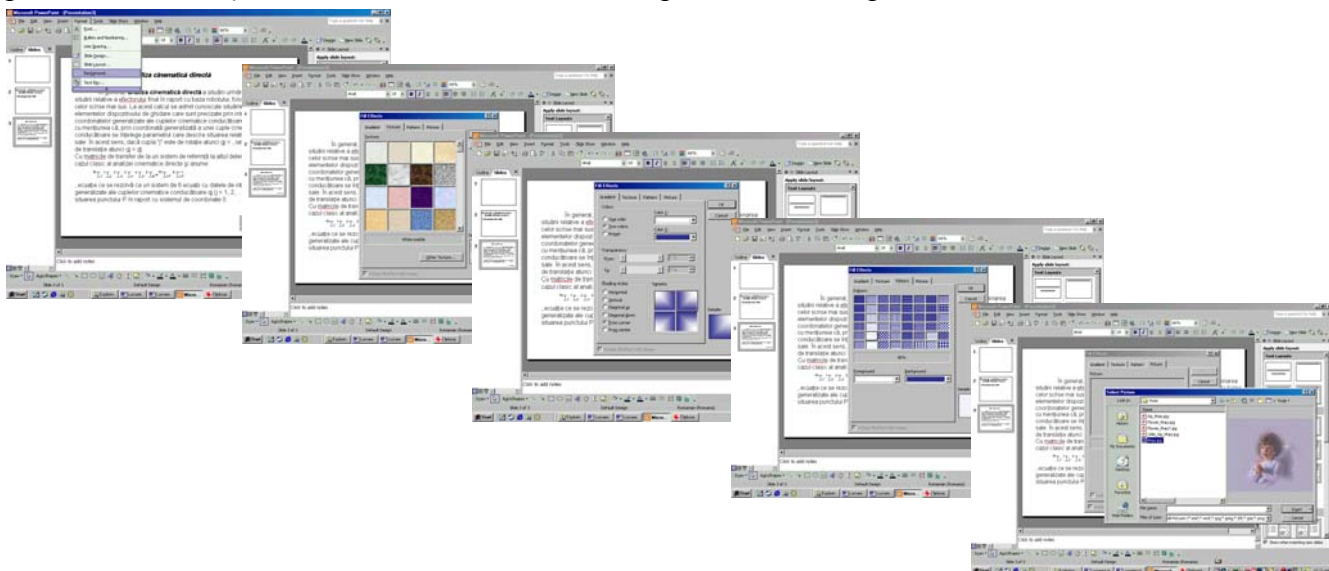
Este necesar ca în prezentare să se facă referire la paginile MathCad ce conțin calculele aferente ACD/ACI (analiză cinematică directă și inversă). Pentru realizarea acestei conexiuni sau pentru realizarea unei conexiuni cu un diapozitiv din prezentarea curentă, a altă prezentare, un document, o foaie de calcul sau o adresă Web, se utilizează **HiperLink**-ul din bara de meniu apărută la aplicarea unui click dreapta pe textbox-ul dorit, după care se alege calea fișierului ce va fi asociat textbox-ului:



Astfel se pot asocia nu numai paginile de calcul MathCad, ci și, spre exemplu, pagina de desen AutoCad reprezentând robotul, documentul Word conținând lucrarea de laborator folosită ca bibliografie, etc.

12.5. Indicarea background-ului

Pentru o prezentare cât mai artistică, se recomandă asocierea fundalurilor pentru diapozitivele prezentării prin alegerea opțiunii **Background/Format** din bara de meniu, după care se poate opta pentru o combinație de culori, o textură, un format predefinit sau o pictură:

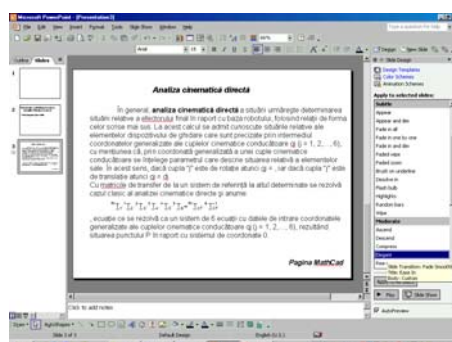
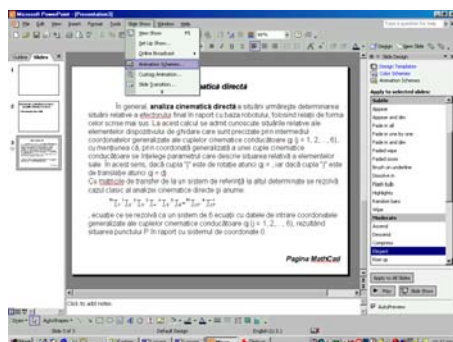


Fundalul poate fi același pentru toate slide-urile sau poate fi caracteristic fiecăruia dintre ele.

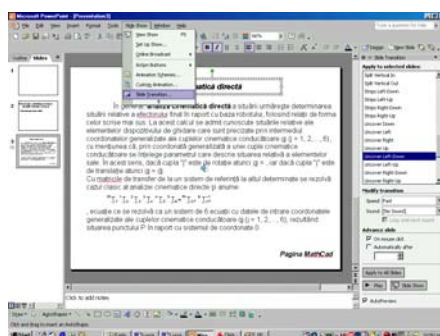
12.6. Animație

Animațiile care se pot realiza se referă la:

- tranziția între slide-uri - **Slide Show/Animation Schemes** și alegerea ulterioară a tipului tranziției



sau **Slide Show/Slide Translation:**



La indicarea modului de tranziție dintre slide-uri se mai pot preciza viteza cu care să se realizeze translația, opțiuni de sunet, ca și modul de lansare în execuție a translației, automat sau la click-ul mouse-ului, tranziția elementelor unui slide – **Slide Show/Custom Animation** și alegerea efectului dorit:

Elementele unui slide pot fi animate ca un tot unitar, pe grupuri de elemente sau element cu element (ex.: un modul text poate fi animat ca un singur element, cuvânt cu cuvânt sau literă cu literă).

12.7. Utilizarea sunetelor într-o prezentare

Pentru înglobarea unui fișier de sunet, după plasarea în diapozitivul căruia i se dorește asociat un obiect de tip sunet, se selectează **Movies and Sounds/Insert** și se pot prelua secvențe de film dintr-un fișier, secvențe de sunet din pachetul Office, sunete înregistrate de utilizator