

## **CURS: BAZELE ROBOTICII**

### **CUPRINS**

#### **Partea I Cinematica robotului industrial**

1. Știința roboticii
  - 1.1 Istoria roboților
  - 1.2 Familia roboților
  - 1.3 Structura sistemului robot industrial
2. Cinematica roboților industriali
  - 2.1 Modelul matematic al manipulării obiectelor de lucru de către robot
  - 2.2 Modelul matematic al unei aplicații robotizate
  - 2.3 Calculul matricilor de rotație/translație elementare
  - 2.4 Analiza cinematico-pozițională a mecanismului generator de traiectorie a robotului  
RTT
  - 2.5 Analiza cinematico-pozițională a dispozitivului de ghidare a robotului RRRR
  - 2.6 Problema cinematico-pozițională inversă a robotului
  - 2.7 Analiza cinematică a mecanismului de orientare a robotului
3. Mișcarea diferențială și comanda mișcărilor robotului
  - 3.1 Determinarea matricii Jacobiene în robotica industrială
  - 3.2 Proprietăți ale Jacobianului
  - 3.3 Problema inversă a vitezelor unui robot
  - 3.4 Comanda mișcărilor (PTP, liniare, circulare) ale robotului
4. Analiza cinetostatică a robotului
  - 4.1 Corpul liber în spațiu
  - 4.2 Metoda energiei și momentele echivalente din cuple
  - 4.3 Sisteme cu grad de mobilitate  $> 6$
5. Analiza dinamică a robotului (facultativ pentru studenți)
  - 5.1 Metoda Newton-Euler
  - 5.2 Interpretarea fizică a ecuațiilor dinamice
  - 5.3 Dinamica robotului rezolvată cu formalismul Lagrange
  - 5.4 Matricea de inerție
  - 5.5 Forțele generalizate

#### **Partea II: Sistemul mecanic al robotului industrial**

6. Reductoare utilizate în construcția cuplelor cinematice conducătoare ale robotului
  - 6.1. Reductorului cicloidal
  - 6.2. Reductorul armonic
  - 6.3. Soluții constructive ale cuplelor cinematice conducătoare ale robotului
7. Transmisii mecanice cu cuplă cinematică de rostogolire
8. Efectorul final
  - 8.1 Structura efectorului final al robotului
  - 8.2 Probleme de centrare a dispozitivului de prehensiune. Soluții constructive
  - 8.3 Compliantța activă a efectorului final
9. Bibliografie

## 1. Știința „Roboticii”

Robotica este rezultatul unei integrări pe scară largă a diferitelor ramuri ale științei; această știință se ocupă de modelarea/instalarea/exploatarea sistemelor de roboți, utilizând concepte, algoritmi și componente preluate din diferite științe fundamentale/tehnice, ca de exemplu fizica și matematica, automatică și teoria controlului<sup>1</sup>, inteligența artificială, proiectarea mecanismelor, tehnologia actuatorilor și a senzorilor, etc.

Funcțiile și proprietățile sistemului robotic depind de componentele sale: senzori, actuatore, mecanisme sau algoritmi de programare, dar mai mult decât acestea, sistemul robotic depinde de modul în care sunt integrate aceste componente.

Un sistem robotic trebuie să includă informații despre sarcinile lui sau despre operațiile pe care le execută și mediul în care aceste sarcini/operații sunt îndeplinite. [5]

### 1.1 Istoria roboților[2]

1921 Apariția pentru prima dată a numelui *robot* în piesa „Rossum's Universal Robots” a scriitorului ceh Karel Čapek<sup>2</sup>.



Figura 1.1. Robotul Eric și creatorul său [6]

1928 W. H. Richards, creatorul unuia dintre primii roboți humanoizi, a prezentat robotul Eric la expoziția anuală a lui „Model Engineers Society” din Londra.

1941-1942 Isaac Asimov a formulat cele trei legi<sup>3</sup> ale Roboticii. În 1948 Norbert Wiener a formulat principiile ciberneticii, baza roboticii practice de azi.

<sup>1</sup> Teoria controlului (sistemelor automate): Teoria controlului este o ramură interdisciplinară a ingineriei și a matematicii care studiază comportamentul sistemelor dinamice. Ieșirea dorită a unui sistem este denumită referință. Când una sau mai multe variabile de ieșire trebuie să urmeze o anumită referință în timp, un controler manipulează intrarea sistemului pentru a obține efectul dorit al ieșirii sistemului.

<sup>2</sup> Robot provine de la „robota”, în cehă înseamnă sclav, servitor.

<sup>3</sup> Legea 1: Un robot nu are voie să pricinuiască vreun rău unei ființe umane, sau, prin neintervenție, să permită ca unei ființe omenești să i se facă un rău.

Legea 2: Un robot trebuie să se supună ordinelor date de către o ființă umană, atât timp cât ele nu intră în contradicție cu Legea 1.

Legea 3: Un robot trebuie să-și protejeze propria existență, atât timp cât acest lucru nu intră în contradicție cu Legea 1 sau Legea 2.

1948-1949 A fost creat primul robot electronic autonom cu comportament complex, de către William Grey Walter, la Institutul Neurologic Burden din Bristol.

1956 S-a inventat/introdus termenul de „Inteligență Artificială” la o conferință ținută la Colegiul din Dartmouth, Marea Britanie.

1958 John McCarthy și Marvin Minsky au înființat la MIT (Massachusetts Institute of Technology) laboratorul “Artificial Intelligence” cu 50,000\$. John McCarthy a creat LISP, un limbaj de programare important în cercetările de inteligență artificială.

1954 Devol a inventat și realizat primul robot programabil digital, denumit Unimate.



Figura 1.2. Patentul U.S. 2,988,237, obținut în 1961 de către Devol [2]

1960 Devol a vândut robotul Unimate la General Motors și acesta a fost instalat într-o fabrică din Trenton, New Jersey, SUA. Sarcina lui Unimate a fost de manipulare a pieselor turnate sub presiune.

1962, H. A. Ernst, inginer din Elveția, a construit la MIT, în cadrul tezei de doctorat, o mână mecanică comandată de calculator, cu comportament adaptiv, cu 6 grade de libertate și cu cameră video [10].

1969 Studentul în inginerie mecanică, Victor Scheinman, a creat „Stanford Arm”, primul braț robotic comandat de calculator. Laboratorul Artificial Intelligence se ocupa de senzori pentru prelucrare de imagini și sunete, cercetări în cinematica și dinamica roboților și în sisteme de comandă și reglare ale roboților [10].

1970 Primul robot mobil capabil de a recunoaște împrejurimile, Shakey, a fost creat la Stanford Research Institute. Acest robot mobil naviga pe baza semnalelor de la diferiți senzori: camere, senzori laser și de coliziune.

1970 URSS a creat vehiculul lunar Lunokhod 1, primul robot mobil controlat la distanță. Freddy and Freddy II, sunt roboți construiți în Marea Britanie, capabili să asambleze piese din lemn.

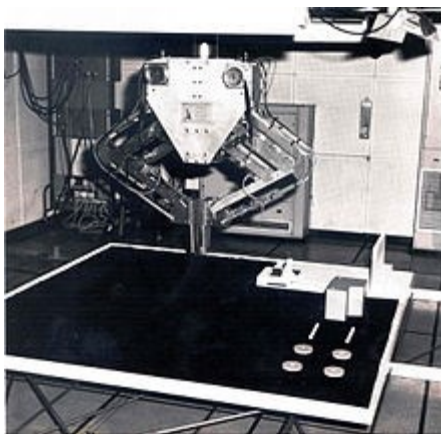


Figura 1.3. Robotul Freddy II, construit în 1973 [2]

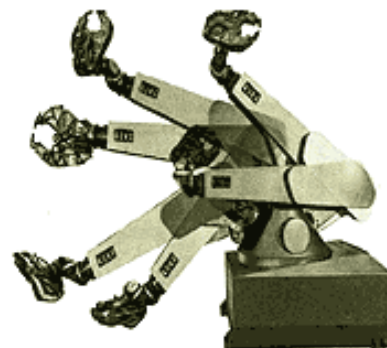


Figura 1.4. Robotul FAMULUS, Kuka GmbH [9]



Figura 1.5. Robot Scara utilizat la paletizare [3]



Figura 1.6. Stanford Cart [4]

1973 Compañia germană Kuka a construit primul robot cu șase axe comandate, numit Famulus.

1978 a fost creat robotul SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm), un braț robotic eficient, cu patru axe comandate. Acest robot a fost introdus în linii de asamblare în 1981.

1979 Stanford Cart a traversat cu succes o cameră plină de scaune. Pe baza sistemului de vedere stereo, acest robot putea naviga și putea determina distanțele. Raj Reddy a înființat Institutul de Robotică de la Universitatea Carnegie Mellon.



Figura 1.7. KUKA IR 160/60 Roboți instalați în 1983 [2]

1981 Takeo Kanade a creat primul braț condus direct, cu motoare dispuse pe braț, eliminând transmisiile lungi.

1984 Douglas Leant a creat Cyc, o bază de date logică pentru inteligență artificială. Acest program încearcă să rezolve ambiguitățile din limbajul uman și încă este utilizat.

1984 Wabot-2 a fost primul robot humanoid, capabil să cânte la pian, avea zece degete la mâini și două picioare.

1986, Honda a început cercetarea roboților humanoizi, capabili să interacționeze cu succes cu oamenii.

1989 MIT a creat un robot hexapod (cu șase picioare), denumit Genghis, pentru explorări spațiale. Acesta a rămas în istoria roboților ca un robot rapid (în deplasare) și ieftin, datorită metodei de construcție, avea 4 microprocesoare, 22 senzori și 12 servomotoare.



Figura 1.8. Robotul pianist Wabot-2 de la Universitatea Waseda, Japonia[7]

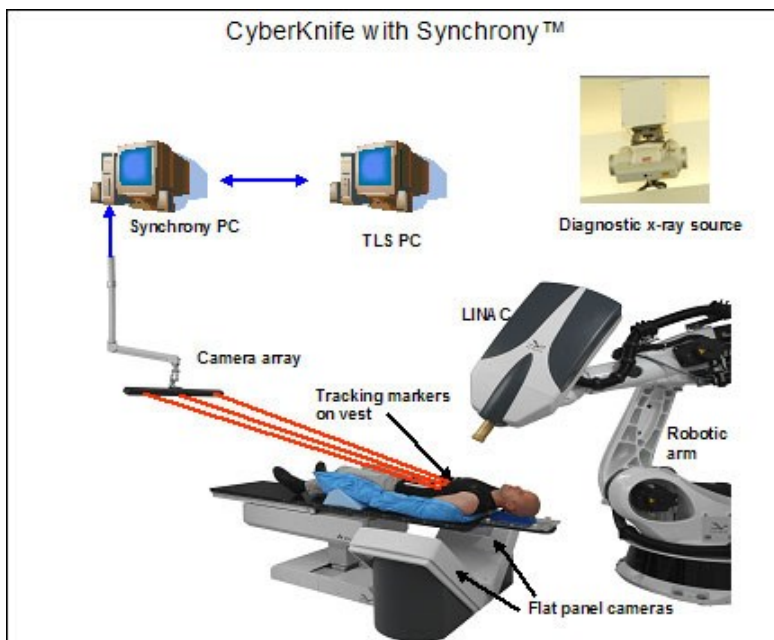


Figura 1.9. Robotul hexapod Genghis [8]

1984 Wabot-2 a fost primul robot humanoid, capabil să cânte la pian, avea zece degete la mâini și două picioare.

1986, Honda a început cercetarea roboților humanoizi, capabili să interacționeze cu succes cu oamenii.

1989 la Universitatea Carnegie Mellon au fost construiți doi roboți jucători de șah, capabili să învingă maeștrii de șah umani.



1994 Dr. John Adler a inventat Cyberknife, un robot performant de radiochirurgie, care oferea un tratament alternativ al tumorilor, cu o precizie comparabilă cu cea a doctorilor umani (figura 1.10).

Figura 1.10. Robotul CyberKnife [11]

1996 RoboTuna, primul robot „pește”, biomimetic<sup>4</sup>, a fost

<sup>4</sup> **MIMÉTIC**, -Ă *adj.* Referitor la mimetism; imitativ; care mimează, imită. [Cf. it. *mimético*, fr. *mimétique*]. Biomimetic= imită animale din natură.

construit de către doctorandul la MIT, David Barrett. Acest robot, asemănător ca formă cu un pește ton, era capabil să înoate.

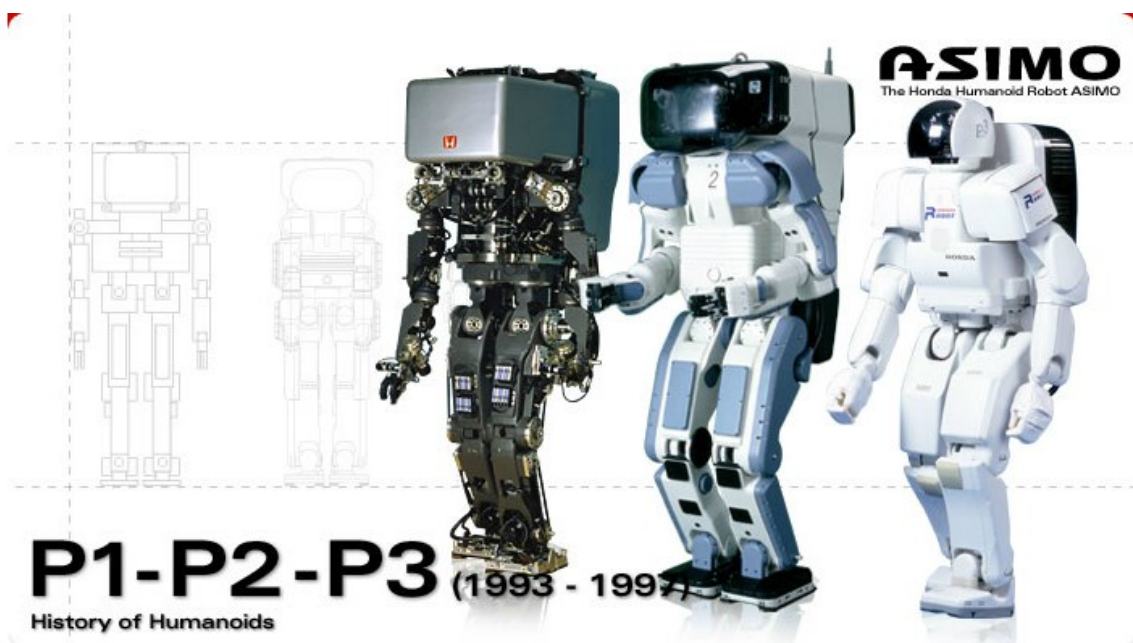


Figura 1.11. Roboți humanoizi [12]

## 1.2 Familia roboților

Familia roboților este ansamblul de soluții tehnice, sisteme, echipamente care constituie rezultatul cercetărilor în domeniul roboticii.

O clasificare, după diferite caracteristice particulare ale membrilor familiei ‘robot’, este prezentată în figura 1.12.

### Câteva exemple de membri ai familiei roboților

#### TELEOPERARE

**GREENMAN (1983-1988)** a fost primul manipulator antropomorf (configurat ca un braț uman) dezvoltat la SSC San Diego. Sistemul demonstrativ cu prezență la distanță, poreclit „Greenman”, este prezentat în figura 1.13. Acesta a fost asamblat în 1983, folosind brațele de la MB Associates și trunchiul și capul dezvoltat la SPAWAR Systems Center San Diego. Acest manipulator a avut un controler master pentru comanda exoscheletului montat pe operatorul uman pentru trunchi, brațe și cap. Sistemul său de vedere artificială a constat din două camere video cu câte 525 linii, fiecare cameră având un domeniu de achiziție a imaginii de 35 grade și monitoare montate pe casca operatorului în dreptul ochilor. Greenman a furnizat lui SSC San Diego o experiență valoroasă în probleme de proiectare și modelare a teleoperării și teleprezenței. Deși este dotat cu dispozitiv de prehensiune cu gheare și fără nici un feedback de forță sau tactil, chiar și operatorii începători au putut efectua ușor sarcini de manipulare, fără o pregătire prealabilă. Cu toate acestea, s-a constatat clar că pentru a avea o

capabilitate similară cu a unui scafandru uman, sistemul trebuie dotat cu braț robotic cu dexteritate ridicată, feed-back al forței și un sistem de vedere de înaltă rezoluție. De asemenea, Greenman nu a fost proiectat pentru utilizare în apă și, o demonstrație de lucru efectiv în apă, a fost considerată necesară pentru a demonstra pe deplin conceptul de scafandru-robot.

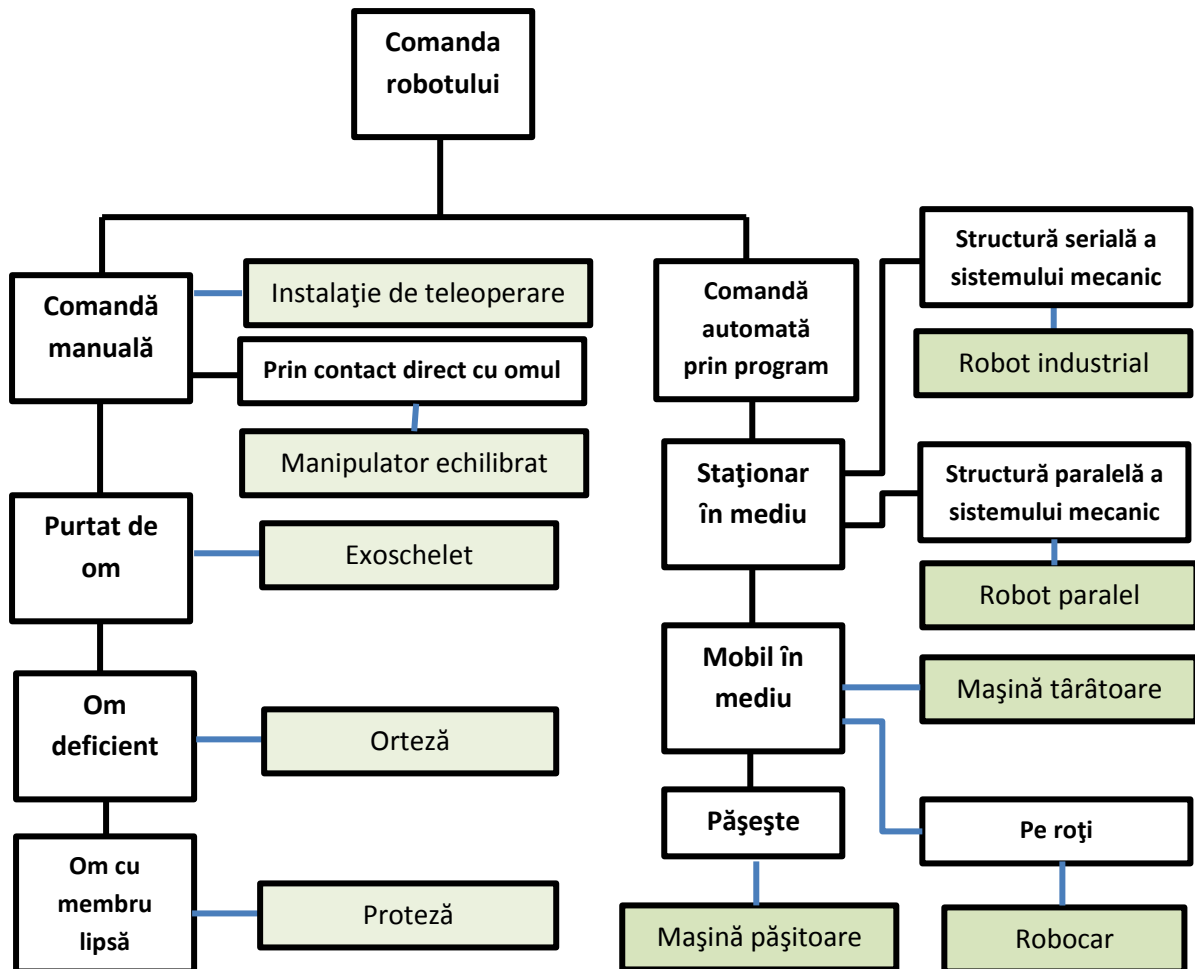


Figura 1.12. Familia roboților

În figura 1.14 se prezintă un sistem de teleprezență de la DLR<sup>5</sup> care include și un sistem autonom de realitate virtuală pentru planificarea manipulării și recunoașterea obiectelor. Sistemul de manipulare planifică punctele de contact ale degetelor mâinii robotice în timp real.

<sup>5</sup> DLR (Luft- und Raumfahrt) este un centru național de cercetare în aeronautică și în explorarea spațiului extraterestru din Germania. Aici se află și un departament dezvoltat de Robotică.

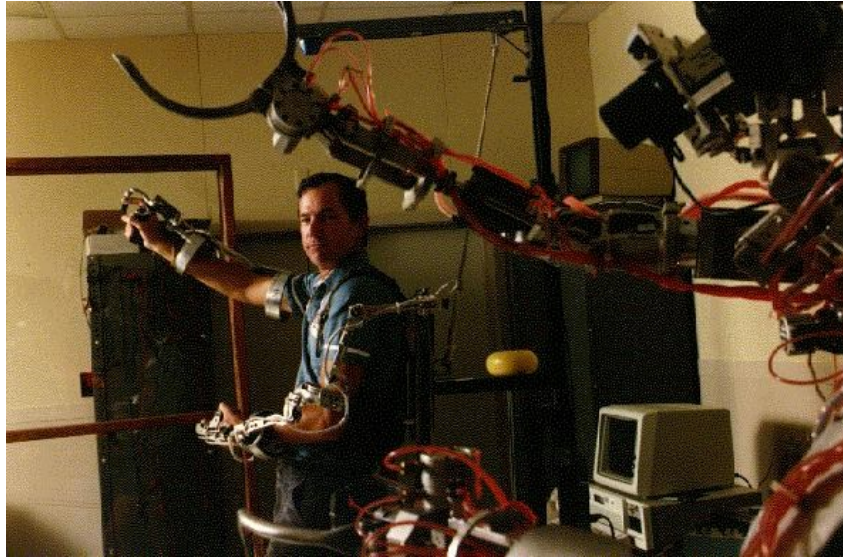


Figura 1.13 Manipulator antropomorf [13]

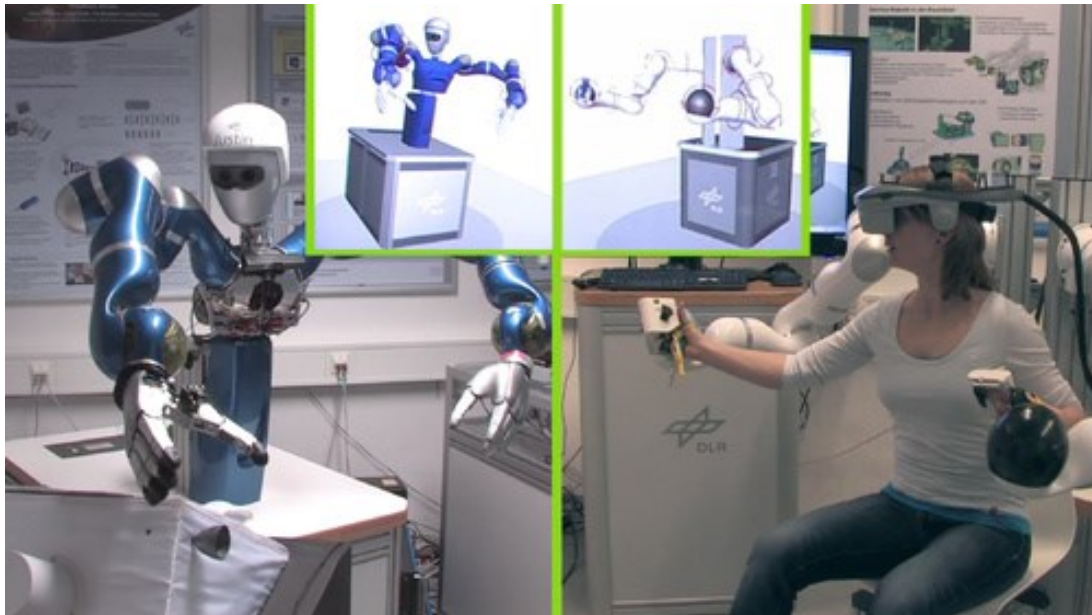
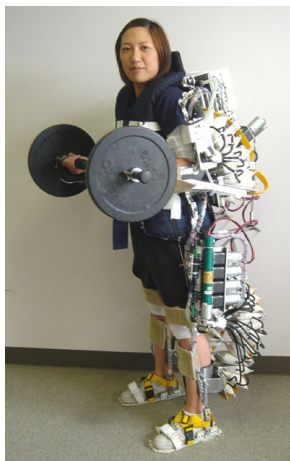


Figura 1.14 Sistem autonom de teleprezență [14]



## EXOSCHELET

Figura 1.15. Exoscheletul AIR POWER [15]

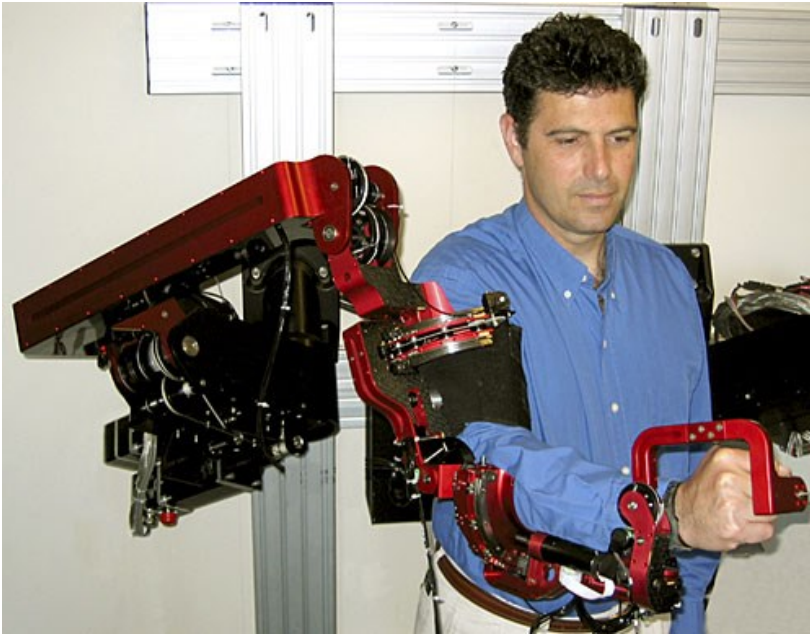
AIR POWER: Un exoschelet acționat pneumatic dezvoltat de Kanagawa Institute of Technology, în Atsugi, Japonia, permite lui Akiko Michihisa, o antrenoare de fitness, să țină în mână haltere de 20 kilograme fără să obosească.

Fotografie: Kanagawa Institute of Technology



## ORTEZA

**FULL-ARM EXO:** Jacob Rosen, profesor la Universitatea din Washington, în Seattle, demonstrează funcționarea unui exoschelet al întregului braț uman, conceput pentru a ajuta oamenii cu dizabilități motorii provocate de diferite boli neurologice.



Fotografie: University of Washington

Figura 1.16. Exemplu de orteză sub forma unui exoschelet [16]

## PROTEZA

În iulie 2007, biomecatronicianul Hugh Herr și echipa lui de la laboratorul media MIT au reușit să creeze o **gleznă robotică**, adaptabilă în funcție de utilizator și de teren. Creată în trei ani, această gleznă robotică folosește senzori și microprocesoare pentru a determina cantitatea necesară de energie pentru ca glezna protetică să împingă omul spre înainte. Acum, o companie numită IWALK face un pas în plus, creând un sistem robotic pentru comercializare, mai mic, mai silențios și mai ușor.



Figura 1.17. Exemplu de proteză [17]



Figura 1.18. Robot paralel DELTA [22]

Robotica este o știință înrudită cu mecatronica, ambele se ocupă de sisteme automate, diferența provine din aplicațiile în care sunt utilizate aceste sisteme.

Robotica este o disciplină ce se caracterizează de multidisciplinaritate (interdisciplinaritate)<sup>6</sup>

Exemple de științe (sau ramuri ale acestora) care contribuie la fundamentarea roboticii ca știință sunt:

• Matematică	• Productică/logistică	• Electronică
• Fizică	• Tehnologia materialelor/Inginerie Industrială	• Automatică
• Mecanică	• Sisteme de acționare	• Programare
• Mecanisme	• Teoria sistemelor automate	

<sup>6</sup> **MULTIDISCIPLINĂR**, -Ă, *multidisciplinari*, -e, adj. (Despre domenii ale științei) Care este fundamentat pe transferul de concepție și metodologic între două sau mai multe discipline; pluridisciplinar, interdisciplinar.

**INTERDISCIPLINĂR**, -Ă, *interdisciplinari*, -e, adj. Care aparține mai multor discipline, care stabilește relații între ele. ♦ (Despre domenii ale științei) Care este fundamentat pe transferul de concepte și metodologii între două sau mai multe discipline.

Acest curs de bazele roboticii își propune, în prima parte, prezentarea principalelor probleme structură, cinematică, dinamică a roboților industriali și, în partea a doua, prezentarea construcției sistemului mecanic al robotului industrial.

### 1.3. Structura sistemului robot industrial

Sarcinile unui robot industrial se clasifică în:

- Manipularea obiectului de lucru;
- Manipularea sculei pentru efectuarea unor operații de prelucrare.

Unui obiect de lucru manipulat i se atașează un punct caracteristic ( $O_0$ ), o dreaptă caracteristică și o dreaptă auxiliară. În figura 1.19 punctul  $O_0$  trece în poziția  $O_1$  prin poziționarea/traslația obiectului. Dacă dreapta caracteristică și cea auxiliară se rotește în jurul punctului caracteristic, fără modificarea coordonatelor lui  $O_1$ ,  $O_1'$ , obiectul își modifică orientarea. Prin manipulare în general (figura 1.19) se înțelege modificarea coordonatelor punctului caracteristic și orientarea dreptelor (trecere din poziția și orientarea notată cu 1' în poziția și orientarea notată cu 2).

Modificarea poziției și a orientării obiectului este denumită modificarea situației acestuia.

Un robot industrial are o structură (figura 1.20) ce cuprinde mai multe sisteme:

- Mecanic
- De acționare
- De comandă
- Senzorial
- De mediu (periferia robotului).

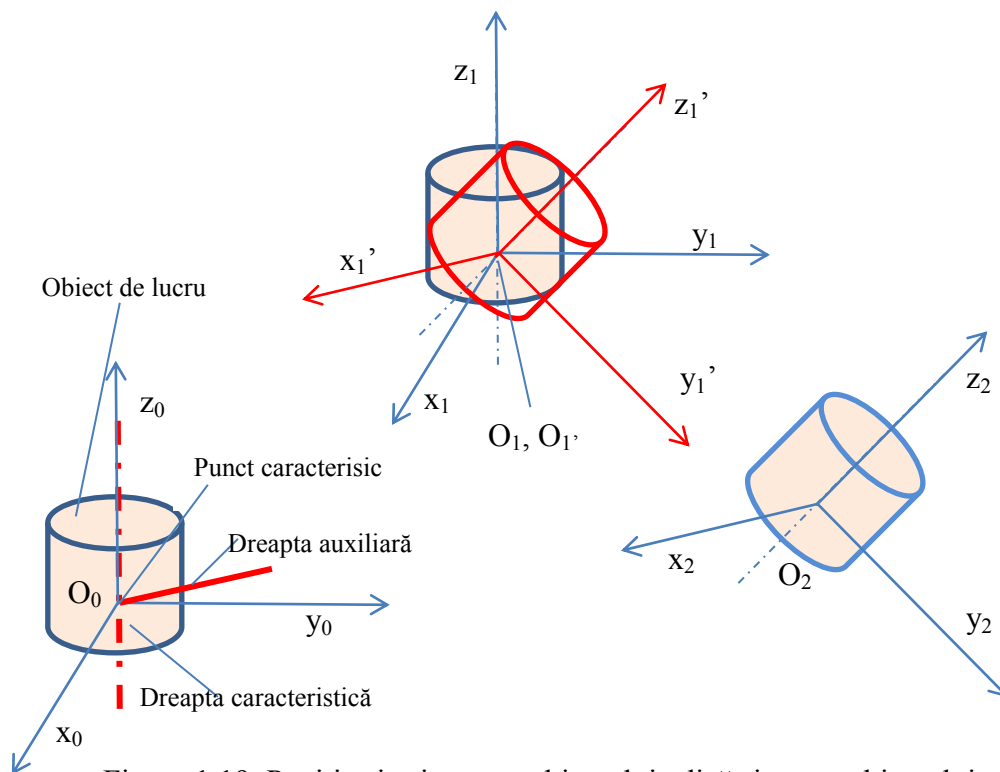


Figura 1.19. Poziția și orientarea obiectului adică situația obiectului

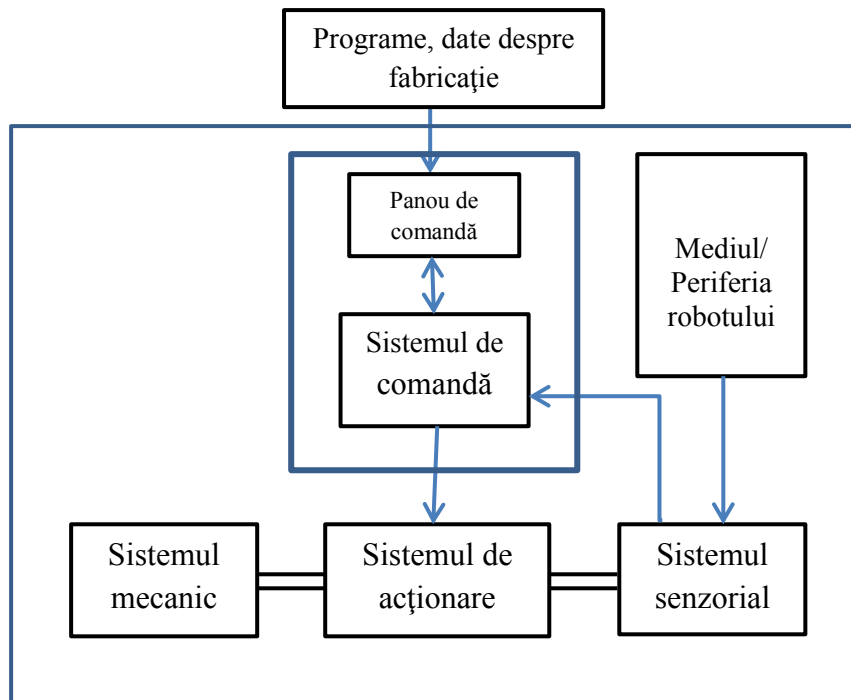


Figura 1.20. Structura sistemului robot industrial

În figura 1.20 cu săgeți s-a prezentat fluxul de informații care se transmite între diferite subsisteme ale robotului.

Sistemul mecanic are în componență un număr de subansambluri egal cu gradul de mobilitate al robotului. Fiecare subansamblu poate să permită mișcări de rotație (R) sau de translație (T) și poartă denumirea de cuplă cinematică conducătoare sau axă comandată. Piesele componente cuplei cinemate au rolul de susținere a unor piese din alte sisteme ale robotului (motor, traductor de poziție, etc) sau ale cuplelor învecinate, de transformare/transmitere a mișcării, etc. O componentă aparține sistemului mecanic este efectorul final. Acesta este montat pe flanșa ultimului element al robotului, funcțiile și construcția acestuia depind de aplicațiile efective ale robotului. De cele mai multe ori un robot are 6 cuple cinemate conducătoare, corespunzătoare celor 6 grade de mobilitate ale efectorului final. De regulă, pe efectorul final se stabilește, de către utilizator, poziția punctului caracteristic al robotului, la care se adaugă un sistem de referință care descrie orientarea acestuia.

Lanțul cinematic deschis al robotului se mai poate numi dispozitivul de ghidare sau brațul robotului. Primele 3 cuple cinemate conducătoare ale robotului se mai numesc și mecanismul generator de traiectorie, pentru că prin mișcarea din aceste cuple se modifică major coordonatele punctului caracteristic al robotului. Ultimele trei cuple cinemate ale robotului modifică cu preponderență orientarea dreptei caracteristice și auxiliare atașate obiectului de lucru manipulat și formează mecanismul de orientare.

Sistemul de acționare al robotului este predominant sistem electric și poate să aibă motoare de c.c. (roboți mici) sau motoare de c.a. (roboți mari). În bucla de reacție a conducerii (comandă+acționare) unei axe comandate intră semnalul de la traductorul de poziție, montat

pe axul robotului. Mișcarea de rotație a motorului este redusă semnificativ de către reductoare: reductor armonic (roboți mici) și reductor cicloidal (roboți mari). Pe axul motorului se montează (la roboții mari) frâne eficiente.

Sistemul senzorial conține traductoare de poziție din fiecare cuplă cinematică a robotului. Pentru un robot care interacționează cu un mediu cu un grad de determinare mai mic (comportament aleator) sistemul robot trebuie să aibă un sistem senzorial dezvoltat, care să preia informații din mediu, astfel încât robotul să aibă un comportament predictibil, conform aplicației.

Sistemul de comandă (controler) al robotului preia informații, le prelucrează, rulează programe și generează semnale către actuatori.

Panoul de comandă are funcții de: interfață om-mașină, de vizualizare, programare, deplasare manuală a robotului, de rulare a programelor, etc. Panoul de comandă al robotului, în cazul în care are mai puține funcții, (de exemplu: numai funcția de deplasare manuală a robotului) se mai numește și panou de învățare.

Mediul/periferia robotului este acea zonă delimitată în spațiu, în care se află echipamente/obiecte de lucru, etc, cu care robotul stabilește interacțiuni mecanice sau digitale (de exemplu sistem de comandă al celulei robotului).