Roboti industriali, sisteme şi tehnologii de fabricație robotizată

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
Roboți industriali, sisteme şi tehnologii de fabricație robotizată /
Adrian Nicolescu, Tiberiu Dobrescu, Andrei Ivan, ... - Bucureşti :
Editura Academiei Oamenilor de Ştiință din România, 2011
ISBN 978-606-8371-48-1

I. Nicolescu, Adrian Florin
II. Dobrescu, Tiberiu Gabriel
III. Ivan, Andrei

621.865.8

Editura Academiei Oamenilor de Ştiință din România

Adresa: Splaiul Independenței, nr. 54, sectorul 5, cod 050094 Bucureşti, România

Redactor: ing. Mihail CĂRUȚAŞU

Tehnoredactor: prof. Andrei PETRESCU

Documentarist: ing. Ioan BALINT

Coperta: ing. sist. Adrian Nicolae STAN

Copyright © Editura Academiei Oamenilor de Ştiință din România, Bucureşti, 2011

Adrian Nicolescu **Tiberiu Dobrescu** **Andrei Ivan**
Cezara Avram **Stelian Brad** **Ioan Doroftei**
Sanda Grigorescu

Roboti industriali, sisteme şi tehnologii de fabricaţie robotizată

Editura Academiei Oamenilor de Ştiinţă din România
Bucureşti
2011

PREFAȚĂ

Sculele, dispozitivele, maşinile-unelte sau de lucru şi, în general, toate sistemele tehnice pot fi caracterizate din punct de vedere al evoluției ca fiind continuu perfecționabile pentru a putea răspunde în condiții optime următoarelor exigențe:

-utilitate;

-autonomie în funcționare;

-universalitate în exploatare.

Utilitatea a impus inițial diversificarea sistemelor tehnice puse la dispoziția operatorului uman. Ulterior, ea a condus la extinderea preocupărilor proiectanților pentru o concepție din ce în ce mai perfecționată a acestor sisteme, astfel încât, prin creşterea funcționalității, ele să răspundă în condiții optime scopului pentru care au fost concepute.

Autonomia funcțională a apărut odată cu introducerea primelor sisteme de automatizare ce suplinesc acțiuni ale operatorului uman. Ea se reflectă în existența unui anumit grad de automatizare a sistemului şi, corelativ cu acesta, în echiparea lui cu un anumit tip de sistem de comandă.

Universalitatea în exploatare constituie rezultatul studiilor dezvoltate de proiectanți în domeniul extinderii posibilităților tehnologice ale unui anumit sistem tehnic. De aceea, din punct de vedere al concepției acestor sisteme, ea constituie, în primul rând, o problemă de analiză a structurii acestora (a subsistemelor, ansamblurilor, subansamblurilor şi elementelor lor componente). Ulterior acestei etape se urmăreşte, în principal, sinteza optimală a sistemului analizat astfel încât el să poată fi uşor reconfigurat şi deci să satisfacă diferite cerințe tehnologice care apar în exploatare.

După cum se poate constata, în particular, şi **"roboții industriali"** (RI) răspund celor trei exigențe majore, ei constituind sisteme tehnice cu acționare proprie, o structură mecanică adaptabilă diferitelor funcționalități, o autonomie funcțională dependentă de tipul sistemului de comandă şi un grad de universalitate operațională ridicat.

Termenul de **"robot"** este de origine slavă, el fiind utilizat pentru prima oară în 1921 în textul unei piese a autorului ceh Karel Capec ("Rossum's Universal Robots"). Prin acest termen erau definite "ființe artificiale" cu aspect antropomorf ce executau, cu productivitate ridicată, activități specifice operatorilor umani.

Ulterior, termenul a fost preluat în literatura S.F., de către scriitorul american de origine rusă Isaac Asimov, care l-a dezvoltat (în lucrarea "I, Robot" publicată în 1950) pană la nivelul roboților cu inteligență artificială. El a enunțat şi cele trei legi fundamentale ale acțiunilor unui robot:

1. ***Un robot trebuie să nu dăuneze cu nimic ființei umane, fie în mod direct, fie prin inactivitate.***

2. ***Un robot trebuie să execute comenzile primite din partea omului, cu excepția celor ce contravin primei legi.***

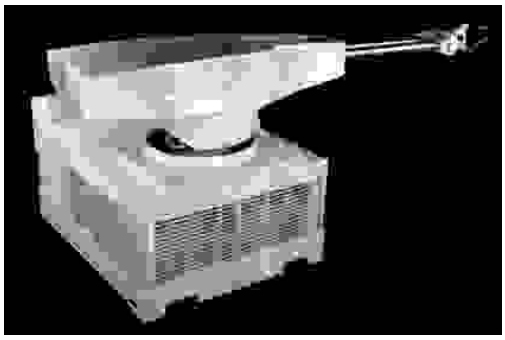
3. ***Un robot trebuie să-şi protejeze propria existență cu excepția cazurilor ce contravin legilor nr.1 si 2.***

În ceea ce priveşte însă **"roboții industriali"** prima cerere de brevet de invenție îi aparține inventatorului Cyril Walter Kenward şi a fost depusa în Anglia în anul 1954,

brevetul fiind acordat in anul 1957 dar fara insa a fi urmat si de aplicarea industriala a acestuia.

Tot în anul 1954 un inventator american, George C. Devol, depune în SUA un brevet referitor la concepția unui robot în coordonate polar sferice cu acționare hidraulică. Ulterior, Joseph Engelberger, (denumit frecvent şi „părintele roboticii"), cumpără în anul 1956 licența de aplicare industrială a brevetului lui Devol şi înființează în SUA compania Unimation Inc., companie ce devine astfel primul producător mondial de roboți industriali. În baza brevetului inițial, până în anul 1960 se dezvoltă de către Devol în cadrul acestei companii şi primul prototip de robot industrial model Unimate. Varianta acestui prototip, perfecționat ulterior până în anul 1961, va deveni astfel primul robot industrial performant, în coordonate polar sferice cu acționare hidraulică model "Unimate" .

Începând cu anul 1961, când se acordă în SUA brevetul solicitat de Devol, Joseph Engelberger trece la implementarea industrială a roboților realizați de către Unimation Inc. prima aplicație robotizată cu roboți Unimate fiind realizată în cadrul companiei Ford Motors Company pentru descărcarea unei maşini de injecție în matriță şi stocare ordonată a reperelor.



Robotul industrial Unimate (1961)

Robotul industrial Versatran (1961)

Prima aplicație robotizată (1961)

Prima linie de fabricație robotizată (1969)

În ceea ce priveşte utilizarea la scara industrială a roboților Unimate, trebuie precizat şi faptul că în mod similar celor expuse anterior, un model de robot Unimate a fost introdus în procesul de producție (mai întâi cu titlu experimental începând cu 1959) într-o celulă de sudare în puncte robotizată la firma General Motors, şi-a extins gradual utilizarea, astfel încât începând cu anul 1969 acest model de RI poate fi regăsit în prima linie tehnologică flexibilă de sudare în puncte a caroseriilor automobilelor model „Chevrolet Vega", instalată la Lordstown-SUA. În cadrul acestei linii de fabricație flexibilă, 26 de roboți Unimate realizau 90% din operațiile de sudare în puncte a caroseriilor modelului Chevrolet Vega,

executând 520 puncte de sudură pe fiecare caroserie, lucru ce permitea încă de la începutul exploatării ieşirea de pe linia de sudare a unei caroserii la fiecare 36 secunde (cea mai rapidă rată de fabricație a automobilelor existentă la acea dată la nivel mondial).

Trebuie însă subliniat şi faptul că, în paralel cu dezvoltarea roboților Unimate, Harry Johnson şi Veljko Milenkovic din cadrul companiei American Machine and Foundry cunoscută ulterior ca AMF Corporation, încep în 1960 activitatea de concepție a primului robot industrial în coordonate cilindrice, pe care il vor lansa însa pe piață sub denumirea „Versatran" abia în anul 1963.

Câteva alte repere importante în evoluția roboților industriali pot fi precizate succint ca fiind de asemenea referitoare la anii:

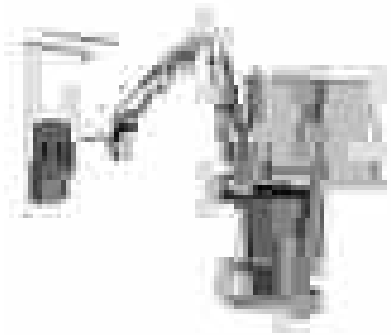
1963 – realizarea primului robot pentru paletizare de către firma japoneză Fuji Yusoki Kogyo

1966 - firma Trallfa (Norvegia) dezvoltă în anul 1966 primul robot industrial pentru vopsire prin pulverizare,

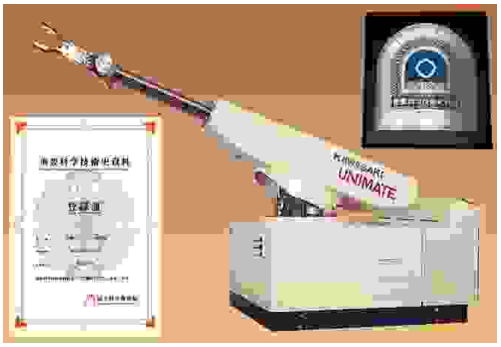
1967 – firma Tokyo Machinery Trading Company din Japonia importă roboți Versatran de la compania AMF (primele modele de roboți importate în Japonia)

1968 – firma Kawasaki cumpară licența de fabricație a robotilor Unimate de la firma Unmation şi incepe producția de roboți de acest tip în Japonia

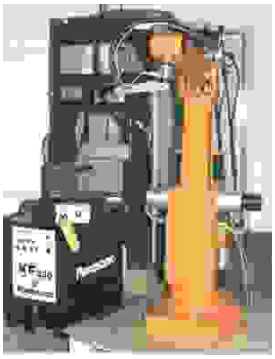
1972 - firma Kawasaki instalează prima linie de asamblare robotizată a automobileor Nissan, în Japonia, utilizând roboți furnizați din SUA de către Unimation, Inc.



Robotul Tralfa (1966)



Robotul Versatran Kawasaki – Unimate (1968)



Robotul ASEA IRB 6 (1972)

Robotul KUKA (1973)

Robotul Cincinnati Milacron T3 (1974)

Robotul Hirata AR 300 (1978)

Robotul PUMA (1979)

1973 – firma ASEA Group of Vasteras, Suedia lansează pe piață primele versiuni de RI cu 5 grade de libertate cu acționare integral electrica IRb 6 şi IRb 60 destinați realizării de operații de şlefuire polizare, tot în anul 1973 fiind raportată în Suedia şi intrarea în funcțiune a primei linii tehnologice robotizate de sudare cu arc electric la firma ESAB în care erau incluşi roboți de fabricație indigenă (model IR-b ASEA)

1973 – firma KUKA (Germania) lansează pe piața primele versiuni de RI cu 6 grade de libertate cu acționare integral electrică

1974 - firma Cincinnati Milacron (SUA) lansează pe piață modelul de robot T3, (prima versiune comercială de RI cu sistem de comandă prin minicomputer

1979 – se lansează pe piață primele modele de RI PUMA (Programmable Universal Assembly) dezvoltate de către Unimation Inc. pentru General Motors

1979 – firmele Hirata (Japonia) and IBM (SUA) lansează pe piață roboții de tip SCARA (Selective Compliant Assembly Robot Arm) dezvoltate de către Universitatea Yamanashi din Japonia

Spre finalul anilor ’70 firma Unimation îşi vinde ultimele licențe de modele noi de RI firmelor Kawasaki Heavy Industries şi Guest-Nettlefolds, care încep să producă roboții Unimate în Japonia şi Anglia.

Japonia, deşi cumpără primele licențe de roboți din SUA, va deveni astfel începînd cu 1980 prin investiții masive făcute de către marile corporații financiare şi industriale japoneze liderul mondial al producției de RI şi primul producător de roboți “autoadaptivi” şi respectiv “inteligenți”.

CUPRINS

CAPITOLUL 1. TIPOLOGIA ŞI CARACTERISTICILE ROBOŢILOR INDUSTRIALI
1.1 Definiţia roboţilor industriali **13**
1.2. Tipologia roboţilor industriali. **Criterii de clasificare. Sisteme de coordonate pentru generarea spaţiului de lucru. Modele constructive de bază şi particularităţile constructive ale acestora** **14**
1.3. Conceptul sistemic unitar de RI integrat în mediul tehnologic **25**
1.3.1. Structura sistemului "Robot Industrial Integrat în Mediul ehnologic" 25
1.3.2 Specificul constructiv, structura şi funcţiile unităţii operaţionale şi unităţii informaţionale a RI. Tehnici de programare şi comandă uzuală. Modelul funcţional complet al RI. Principiul de funcţionare al RI..... 28
CAPITOLUL 2. SISTEME DE ACŢIONARE ŞI COMANDĂ A ROBOŢILOR INDUSTRIALI
2.1. Sisteme de acţionare a RI **33**
2.1.1. Caracteristici generale ale sistemelor de acţionare utilizate la roboţii industriali 33
2.1.2. Categorii de motoare utilizabile pentru acţionarea roboţilor industriali. Specificul exploatării, avantaje / dezavantaje şi limite în exploatare caracteristice sistemelor de acţionare electrică / pneumatică / hidraulică..... 34
2.1.3. Concepţia specifică a RI. Soluţii constructive uzuale de RI cu acţionare electrică, pneumatică şi hidraulică 36
2.1.3.1. Consideraţii privind amplasarea motoarelor electrice de acţionare a Roboţilor industriali 36
2.1.3.2. Consideraţii privind amplasarea motoarelor hidraulice / pneumatice de acţionare a robotilor industriali..... 42
2.1.4. Tipuri de motoare electrice utilizate la acţionarea roboţilor industriali 44
2.1.5. Caracterizare constructiv - funcţională a motoarelor electrice fără perii utilizate pentru acţionarea roboţilor industriali 45
2.1.5.1. Servomotoare de c.c. fără perii, autopilotate..... 45
2.1.5.2. Motoare de tip "direct drive" utilizate pentru acţionarea roboţilor industriali 55
2.1.5.2.1. Motoare de tip "direct drive" cu rotor inelar 55
2.1.5.2.2. Motoare electrice lineare..... 58
2.2 Noţiuni fundamentale privind structura şi specificul exploatării axelor comandate numeric ale RI **61**
2.2.1. Aspecte generale privind structura axelor comandate numeric ale RI 61
2.2.1.1. Aspecte specifice privind traductoarele de poziţie şi viteză incluse în axele comandate numeric ale RI..... 62
2.2.1.2. Structura modulară şi funcţiile variatorul electronic de turaţie..... 65
2.2.1.2.1. Sisteme motor-variator produse de firma SIEMENS

2.2.1.3. Integrarea sistemului de acționare motor–variator electronic de turație în ACN în circuit închis de la RI cu sisteme de comandă a mişcărilor de tip comandă pe traiectorie 71
2.2.2. Specificul structurii ACN ale RI cu sisteme de comandă de poziționare şi pe traiectorie. Modalități specifice de comandă şi control a poziției / vitezei elementelor mobile pe ACN ale Roboților Industriali 73
2.2.2.1. Integrarea sistemului de acționare motor–variator electronic de turație în structura axelor comandate numeric în circuit închis conduse cu sisteme de comandă în poziție 74
2.2.2.2. Exemple de ACN în circuit închis integrate RI cu sisteme de comandă a mişcărilor de tip comandă de poziționare şi achiziție continuă a informației de poziție..... 77
CAPITOLUL 3. TEHNOLOGII ŞI SISTEME DE FABRICAȚIE ROBOTIZATĂ
3.1. Utilizarea RI în aplicații de paletizare 83
3.1.1. Operația de paletizare..... 83
3.1.2. Specificul constructiv-funcțional al end-efectorilor utilizați pentru paletizare..... 84
3.1.3. Specificul constructiv funcțional al RI dedicați operațiilor de paletizare 87
3.1.4. Specificul concepției şi exploatării celulelor şi sistemelor robotizate de paletizare..... 89
3.1.4.1. Aplicație robotizată pentru paletizarea unui singur tip de produs, cu un singur conveior de aprovizionare şi un conveior de ieşire a produselor paletizate 90
3.1.4.2. Aplicație robotizată cu un singur conveior de aprovizionare şi două conveioare de paletizare..... 90
3.1.4.3. Aplicație robotizată pentru paletizarea a trei tipuri de produse şi un singur conveior de paletizare 91
3.1.4.4. Aplicație robotizată cu trei conveioare de aprovizionare şi trei conveioare de paletizare..... 91
3.1.4.5. Scheme bloc de baza pentru recomandate pentru aplicatii robotizate de paletizare 92
3.1.5.Exemple de sisteme de paletizare realizate de către diferiți producători 94
3.1.5.1. CFF cu 1 intrare şi 1 ieşire pentru paletizat cutii de carton..... 94
3.1.5.2. CFF cu 2 intrări şi 2 ieşiri pentru paletizat cutii de carton 95
3.1.5.3. CFF cu 1 intrare şi 1 ieşire pentru paletizat saci cu materiale vrac 95
3.1.5.4. CFF complexe cu 1 intrare şi 1 ieşire pentru paletizat cutii de carton .. 95
3.2 Utilizarea RI în sisteme de fabricație pentru injecție de mase plastice / aliaje usoare în matriță..... 97
3.2.1. Tipuri de procedee tehnologice utilizate în modelarea maselor plastice 97

3.2.1. Specificul procesului tehnologic şi maşinilor de realizare a reperelor din mase plastice prin injecție în matriță..... 98
3.2.1.1. Procesul tehnologic 99
3.2.1.2. Sistemele de alimentare cu material plastic vrac (granule) 100
3.2.1.3. Maşinile de injecție 100
3.2.1.4. Tipurile de maşini de injecție 101
3.2.2. Modalități de automatizare a procesului de injecție 103
3.2.2.1. Descarcărea automatizată a reperelor obținute prin injecție de mase plastice în matrițe 103
3.2.3. Celule de fabricație intagrate în procesele de formare prin injecție a maselor plastice..... 105
3.2.3.1. Structura generală a celulei de fabricație..... 106
3.3. Utilizarea RI pentru realizarea operatiilor de vopsire 108
3.4. Implementarea RI in aplicatii de sudare robotizata cu arc electric 121

CAPITOLUL 4. ANALIZA STRUCTURII ŞI FUNCȚIILOR SISTEMELOR DE CONDUCERE A ROBOȚILOR INDUSTRIALI

4.1 Cerințe generale impuse sistemelor de conducere (programare şi comandă) a roboților industriali..... 131
4.2 Corelarea sistemului de conducere a roboților industriali cu generația acestora 132
4.3 Subsisteme şi funcții specifice ale sistemului de conducere a roboților industriali..... 133
4.3.1. Subsistemul de comandă a mişcărilor de ansamblu ale RI..... 134
4.3.2. Subsistemul de prelucrare a informațiilor furnizate de către senzori 136
4.3.3. Subsistemul de decizie 137
4.3.4. Subsistemul de comunicare cu operatorul uman si programare a RI 138
4.4. Tendințe manifestate actual în realizarea sistemelor de conducere a roboților industriali 140

4.5. Tehnici moderne de programare a roboților industriali 160
4.5.1. Aspecte generale 160
4.6. Programarea şi simularea off line a roboților industriali 162
4.7. Medii de lucru specifice pentru programarea şi simularea off line a roboților industriali 165
4.7.1. Mediul de lucru KukaSim 165
4.7.2. Mediul de lucru Kawasaki PC-Roset 165
4.7.3. Mediul de lucru ABB RobotStudio 166
4.7.4. Mediul de lucru Fanuc RoboGuide 167
4.8. Interfețele utilizator şi modul de operare a pachetelor software Kawasaki PC-Roset şi ABB RobotStudio 167
4.8.1. Mediul de lucru Kawasaki PC-Roset 167
4.8.2. Mediul de lucru ABB RobotStudio 178
4.9. Elaborarea şi testarea programelor prin simulare off line a funcționării roboților industriali ..... .185
4.10. Corectarea programelor şi implementarea în procesele de producție ..... .185

Bibliografie ..... .187

CAPITOLUL 1. TIPOLOGIA ŞI CARACTERISTICILE ROBOȚILOR INDUSTRIALI

1.1 Definiția roboților industriali

În ceea ce priveşte definiția roboților industriali nu există actual un standard internațional universal acceptat. Există însă mai multe norme de standardizare naționale ce definesc în mod diferit roboții industriali:

a) JIS - standard japonez - "Robotul industrial este un sistem mecanic dotat cu funcții motoare analoge celor ale organismelor vii sau care combină asemenea funcții motoare cu funcții inteligente formând un sistem care acționează corespunzător voinței omului. Prin funcție inteligentă se înțelege capacitatea sistemului de a executa cel puțin una din următoarele acțiuni: judecată, recunoaştere, adaptare sau învățare";

b) DIN - standard german - "Roboții industriali sunt automate mobile, cu mai multe axe comandate numeric, ale căror mişcări sunt liber programate (fără legături mecanice între axe) într-o anumită succesiune a mişcărilor, pe traiectorii simple sau complexe, în anumite cazuri comandabile prin senzori. Ei pot fi echipați cu dispozitive de prehensiune, scule sau alte mijloace de fabricație şi pot îndeplini activități de manipulare sau tehnologice";

c) NFE - standard francez - "Un robot este un mecanism de manipulare automată, aservit în poziție, reprogramabil, polivalent, capabil să poziționeze şi să orienteze materiale, piese, scule sau dispozitive specializate, în timpul unor mişcări variabile, programate în scopul executării unor sarcini variate";

d) GOST - standard rusesc - "Robotul industrial este o maşina automată staționară sau deplasabilă constând din dispozitivul de execuție (manipulatorul), având mai multe grade de libertate, şi din dispozitivul reprogramabil de comandă după program pentru îndeplinirea în procesul de producție a funcțiilor motoare şi de comandă".

Aşa cum se poate uşor observa, fiecare definiție exprimă un punct de vedere specific fiecărei naționalități de specialişti în robotică, evidențiind, în fapt, aspectele generale sau particulare pe care aceştia le consideră esențiale în studiul roboților industriali.

Având în vedere acest lucru, considerăm utilă şi prezentarea unei definiții care să reflecte aspectele esențiale urmărite de specialiştii din țara noastră angrenați în activități de concepție şi implementare a roboților industriali în cadrul sistemelor de producție. Astfel, în concepția actuală a acestora, roboții industriali pot fi

definiți ca **"*echipamente tehnologice cu funcționare automatizată, flexibilă, adaptabilă prin (re)programare (manuală sau automată) la condițiile unui mediu tehnologic complex (variabil) în care acționează substituind una sau mai multe dintre funcțiile operatorilor umani, pe care îi înlocuiesc în acțiunile acestora asupra mediului tehnologic*".**

1.2. Tipologia roboților industriali. Criterii de clasificare. Sisteme de coordonate pentru generarea spațiului de lucru. Modele constructive de bază şi particularitățile constructive ale acestora.

În ceea ce priveşte clasificarea roboților industriali (RI), trebuie făcută precizarea că deşi există şi reglementări ISO în acest sens, o serie de asociații sau institute de specialitate, precum şi diferite standarde naționale operează cu criterii de clasificare diferite de cele ISO.

Din punct de vedere al **criteriilor de clasificare ISO**, menționăm că acestea sunt referitoare la:

- Sursa principală de putere :
- pneumatică;
- hidraulică;
- electrică.
- Tipul sistemului de comandă a mişcărilor:
- punct cu punct (PTP - point to point);
- pe traiectorie continuă (CP - continus path).
- Metode de programare (instruire) a robotului :
- prin învățare directă (teach-in);
- prin generare de traiectorie;
- prin telecomandă;
- programare off-line.
- Tipurile de senzori folosiți :
- senzori de proximitate;
- traductore de poziție /viteză liniari sau rotativi;
- senzori având semnale proporționale cu mărimea abaterii (ex.: senzori electromagnetici).

În ceea ce priveşte criteriile de clasificare utilizate de către diferite standarde naționale / organizații de robotică în mare parte acestea operează cu criterii de clasificare diferite de cele ISO. Per ansamblu se remarcă însă existența în cadrul acestora a câtorva categorii de criterii majore de clasificare a roboților industriali, referitoare în principal la elementele specifice concepției şi exploatării roboților industriali ce vizează de regulă:

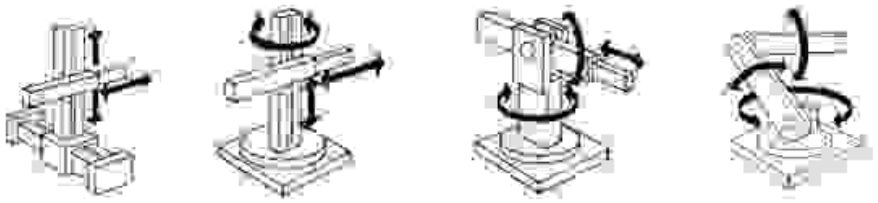
a) sistemul de coordonate programabile pentru poziţionarea efectorului RI (forma spaţiului de lucru a RI), determinat de numărul, tipul şi ordinea de asociere a axelor comandate numeric, (cartezian / rectangular, cilindric /articulat –cilindric, polar sferic, articulat-sferic, etc.) – *Figura 1.1*)

b) arhitectura generală şi varianta constructivă de robot industrial (ex.: robot pistol, turelă, braţ articulat, portal simplu / dublu etc.) - vezi exemplele de RI prezentate în *Figura 1.2*;

c) tipul echipamentului de comandă (secvenţială, de poziţionare, pe traiectorie, etc.);

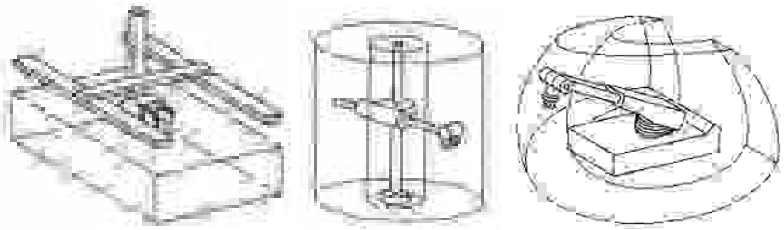
d) tipul sistemelor de acţionare (electrică, pneumatică, hidraulică);

e) sarcina portantă / sarcina maximă manipulată, etc.



Carteziene ($T_1T_2T_3$) **Cilindrice ($R_1T_2T_3$)** **Polar-sferice ($R_1R_2T_3$)** **Articulat-sferice ($R_1R_2R_3$)**

a



Carteziene ($T_1T_2T_3$) **Cilindrice ($T_1T_2T_3$)** **Polar-sferice ($R_1R_2T_3$)**

b

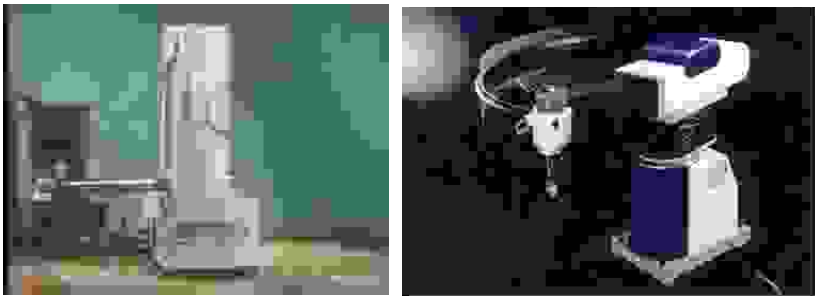
Carteziene ($T_1T_2T_3$) **Cilindrice ($R_1R_2T_3$)** **Articulat-cilindrice ($R_1R_2T_3$)** **Articulat-sferice ($R_1R_2R_3$)**

C

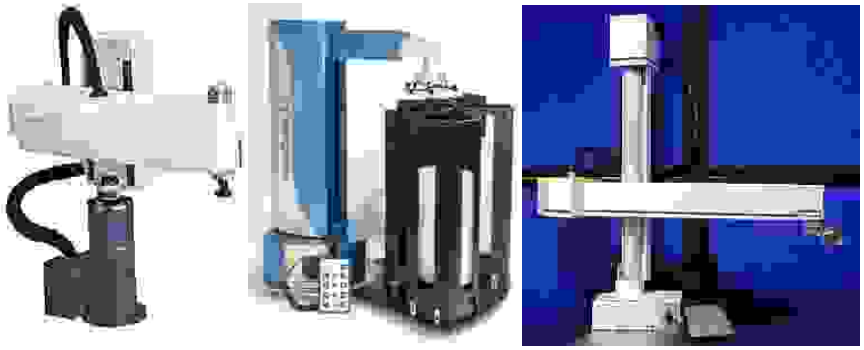
c

Figura 1.1 : Forma spaţiului de lucru a RI

a. Roboți în coordonate polar-sferice cu arhitectură generală de tip „turelă”

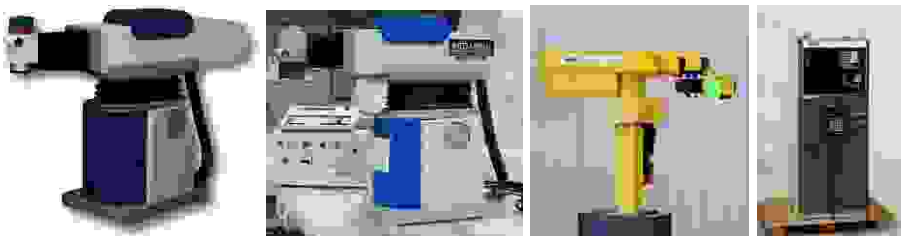


b. Roboți în coordonate cilindrice cu arhitectură generală de tip „coloană” şi „pistol”



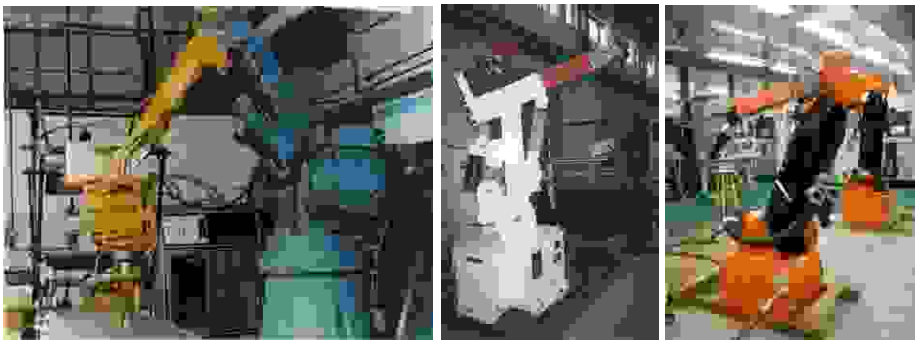
b1. Roboți în coordonate cilindrice cu arhitectură generală de tip „coloană”

Figura 1.2 : Variante constructive de RI



b2. Roboţi în coordonate cilindrice cu arhitectură generală de tip „pistol”

c. Roboţi în coordonate articulat- sferice cu arhitectură generală de tip „braţ articulat”



c1. Roboţi în coordonate articulat- sferice cu arhitectură generală de tip „braţ articulat” cu simetrie bilaterală şi structură cinematică de tip lanţ cinematic semiînchis

Figura 1.2 : Variante constructive de RI