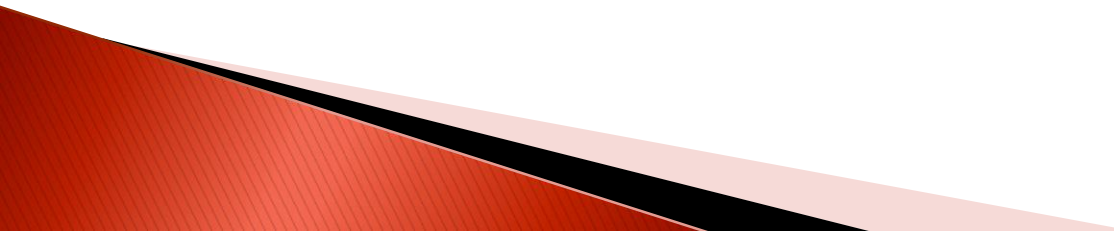


Modelarea si simularea robotilor

Curs 2. Roboti paraleli

Cuprins

- ▶ Terminologie in robotica
 - ▶ Tipuri de cuple
 - ▶ Roboti paraleli
 - Definitie
 - Proprietati
 - Exemple
 - ▶ Analiza comparativa intre robotii seriali si cei paraleli
- 

Terminologie in robotica

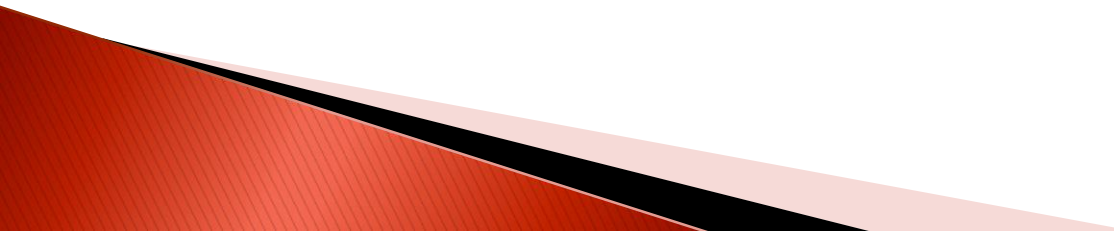


Terminologie in robotica

- ▶ **Numărul gradelor de libertate (GDL)** reprezintă numărul mișcărilor independente pe care le poate realiza un mecanism. Numarul total al gradelor de libertate ale unui corp in spatiu nu poate depasi 6 (sase). Care sunt acelea?
- ▶ **Efactorul final** (mecanism de prehensiune) este dispozitivul montat în capătul unui manipulator care realizează operații de prindere a sculei sau a obiectului manipulat.
- ▶ **Spațiul de lucru** este volumul de puncte din spațiu unde se poate situa efecturul final al unui robot.
- ▶ **Poziția** se referă la coordonatele liniare în spațiul tridimensional ale unui obiect (punct caracteristic).
- ▶ **Orientarea** se referă la coordonatele unghiulare ale unui obiect funcție de axele sistemului de coordonate fix.
- ▶ **Situarea (Pose)** reprezintă poziția și orientarea unui obiect în spațiu.
- ▶ **Elementul cinematic** este o legătură rigidă între două cuple cinematice.
- ▶ **Cuplele cinematice** permit mișcarea relativă între două elemente cinematice ale unui mecanism.

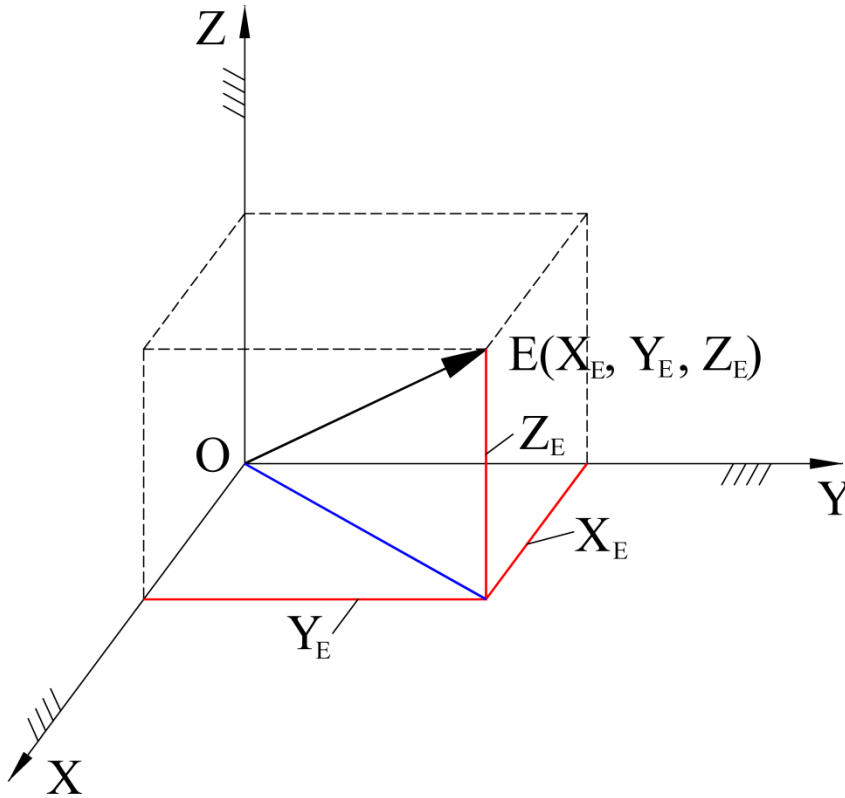
Terminologie in robotica

Sisteme de coordonate

- ▶ Coordonate carteziene
 - ▶ Coordonate cilindrice
 - ▶ Coordonate sferice
 - ▶ Coordonate Plucker
- 

Terminologie in robotica

- ▶ Sistemul de coordonate cartezian

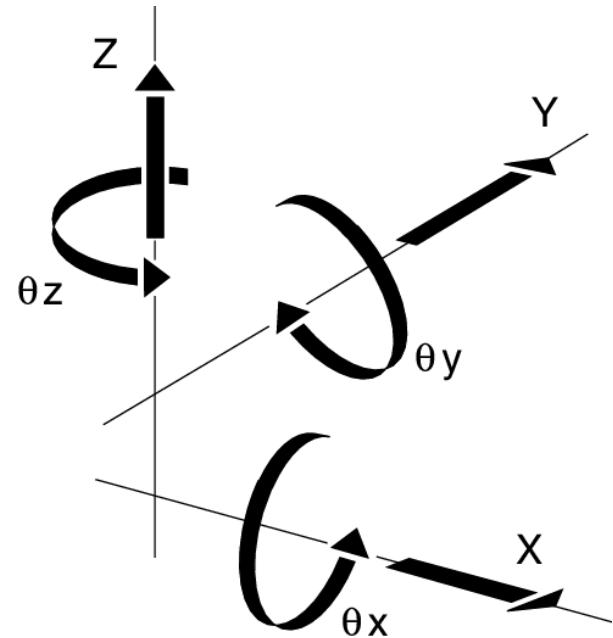
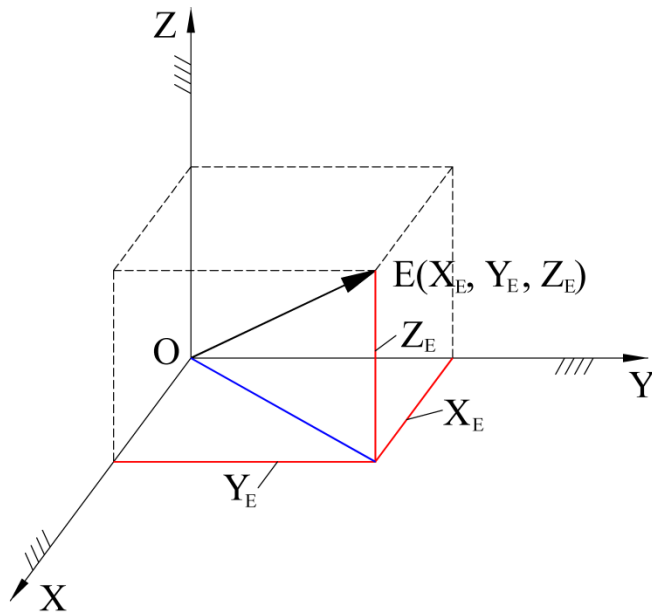


$$\overline{OE} = \sqrt{X_E^2 + Y_E^2 + Z_E^2}$$

Terminologie in robotica

Sistemul de coordonate cartezian

Miscari posibile ale unui corp liber



Care este numarul maxim de GDL ale unui corp?

Terminologie in robotica

- ▶ Gradele de libertate ale cuplelor se definesc ca fiind numărul parametrilor independenți necesari pentru a specifica poziția relativă a două corpuri în contact [Wha 01]. În funcție de numărul lor, cuplele cinematice sunt clasificate în cinci clase, după cum urmează:

Clasa	Nr. GDL	Denumire
V	1	Cupla de rotație Cupla de translație Cupla surub
IV	2	Cupla cardanica Cupla cilindrica Cupla cu cama

Terminologie in robotica

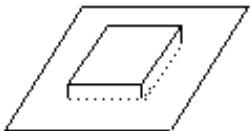
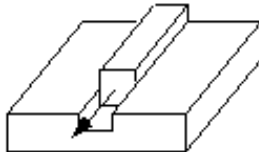
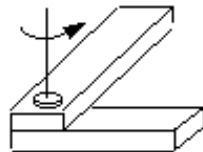
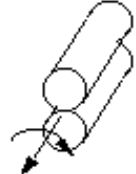


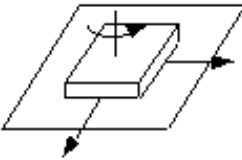
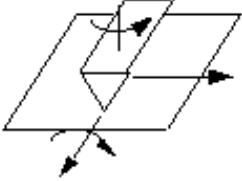
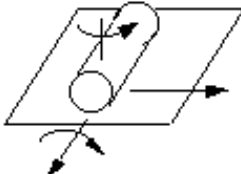
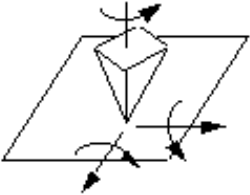
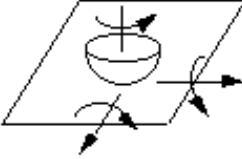
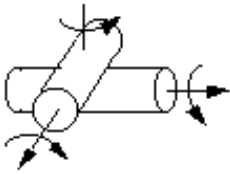
- ▶ Gradele de libertate ale cuplelor se definesc ca fiind numărul parametrilor independenți necesari pentru a specifica poziția relativă a două corpuri în contact [Wha 01]. În funcție de numărul lor, cuplele cinematice sunt clasificate în cinci clase, după cum urmează:

Clasa	Nr. GDL	Denumire
III	3	Cupla sferică Cupla sferică cu fanta Cupla plană
II	4	Cupla sferică cu canelura Cupla plan cilindrică
I	5	Cupla plan-sferică Cupla dublu cilindrică

Terminologie in robotica

Identificati pe urmatorul desen gradul de libertate si miscarile posibile raportate la un sistem de coordonate cartezian pentru urmatoarele cuple:



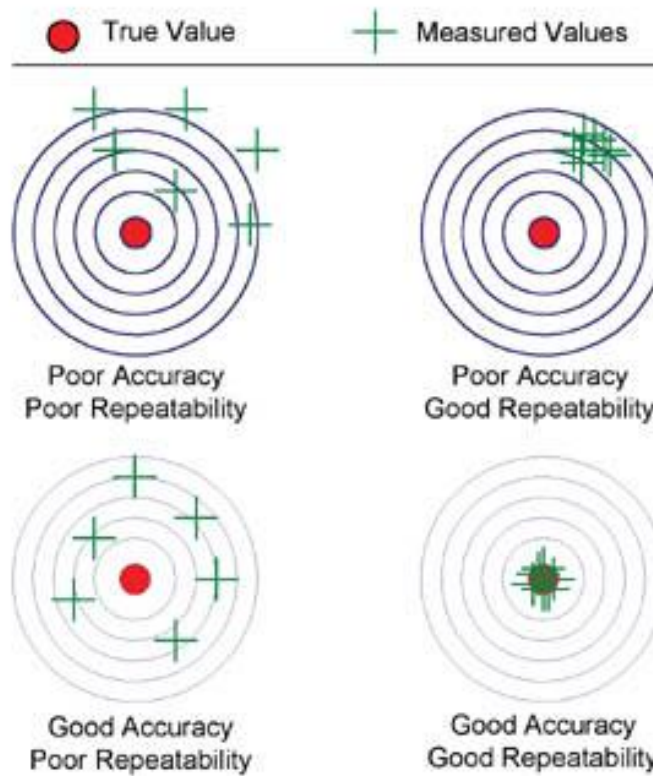
 <p>Rigid (no motion)</p>	 <p>Prismatic</p>	 <p>Revolute</p>	 <p>Parallel Cylindrical</p>
 <p>Cylindrical</p>	 <p>Spherical</p>	 <p>Planar</p>	 <p>Edge Slider</p>
 <p>Cylindrical Slider</p>	 <p>Point Slider</p>	 <p>Spherical Slider</p>	 <p>Crossed Cylinder</p>

Terminologie in robotica

- ▶ **Cinematica** se referă la studiul mișcării neglijând forțele.
- ▶ **Dinamica** face studiul mișcării luând în considerare și forțele.
- ▶ **Motorul** furnizează forța necesară mișcării robotului.
- ▶ **Senzorii** citesc variabile ale robotului în mișcare pentru a fi folosite în controlul acestuia.
- ▶ **Viteza** robotului reprezintă distanța în raport cu unitatea de timp cu care robotul poate să se deplaseze.
- ▶ **Precizia (Acuratețea)** este abilitatea robotului de a se poziționa într-o anumită poziție. Este imposibil de a poziționa robotul exact, acuratețea este deci definită ca fiind abilitatea robotului de putea fi poziționat cu o eroare minimă.
- ▶ **Repetabilitatea** reprezintă abilitatea robotului de a-și repeta poziționarea atunci când i se impun mișcări repetitive.
- ▶ **Stabilitatea** se referă la abilitatea robotului de a funcționa cu cât mai puține oscilații.

Terminologie in robotica

Precizie versus repetabilitate



Roboti paraleli

În cartea sa, *Parallel Robots*, Merlet definește un robot paralel astfel:

„Un robot paralel este un mecanism compus din lanțuri cinematice închise al cărui efector final este legat de batiu prin mai multe lanțuri cinematice independente.”

Definiția de robot paralel este foarte largă: ea include mecanisme cu mai multe sisteme de acționare decât numărul gradelor de mobilitate, incluzând și situația în care mai mulți roboți lucrează în cooperare.

Roboti paraleli

Mecanismele paralele prezintă mai multe caracteristici [MER06]:

- ▶ cel puțin două lanțuri cinematice susțin efectorul final, iar fiecare dintre acestea conțin cel puțin un element de acționare;
- ▶ numărul elementelor de acționare este același cu numărul gradelor de mobilitate al efectorului final;
- ▶ mobilitatea robotului este zero când elementele de acționare sunt blocate.

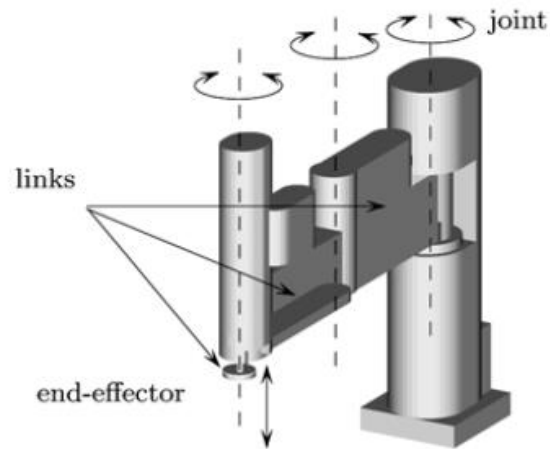
Roboti paraleli

Cercetarea acestor tipuri de mecanisme este interesantă și utilă din următoarele considerente:

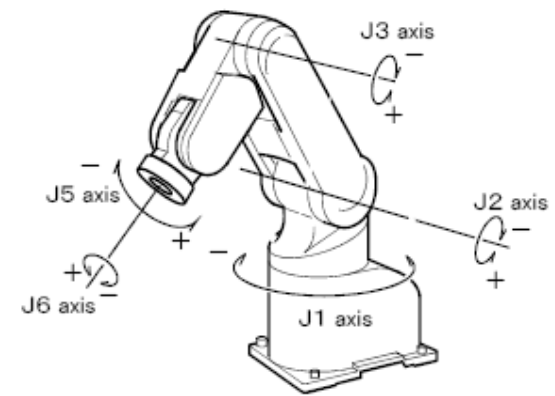
- ▶ cel puțin două din lanțurile cinematice permit distribuirea încărcării asupra lor;
- ▶ numărul elementelor de acționare este minim;
- ▶ numărul senzorilor necesari pentru controlul în buclă închisă a mecanismului este minim;
- ▶ dacă elementele de acționare sunt blocate, robotul paralel rămâne în poziția atinsă.

Roboti paraleli – scurt istoric

Pentru a face o comparatie intre cele doua mari categorii de structuri vom analiza mai intai modele clasice ale unor structuri seriale. Una din primele structuri seriale este robotul SCARA, un robot serial clasic, cu patru grade de mobilitate la nivelul end-efectorului (fig. 1.5). O altă structură bazată numai pe cuple de rotație însă amplasate în alte plane față de cele ale robotului SCARA este cea a robotului articulat, prezentat în figura 1.6.



Robotul Scara [Mer 06]

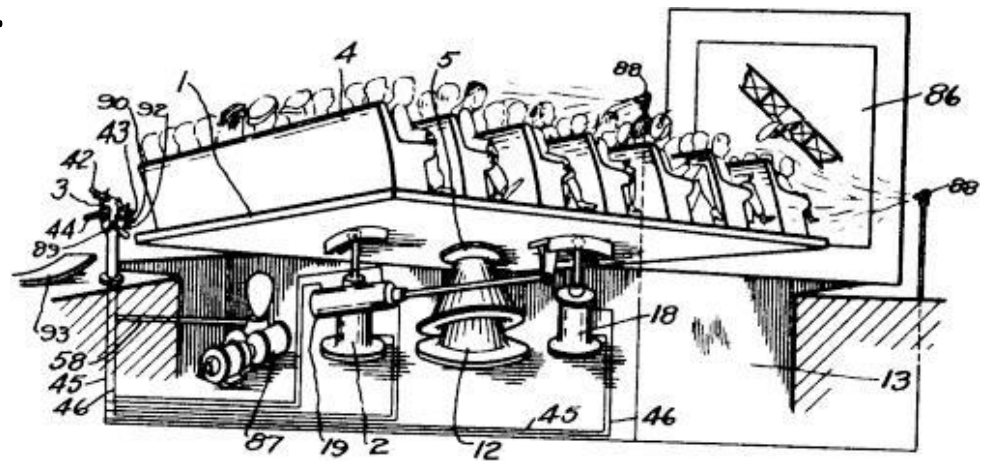


Robotul articulat [Mov 08]

Roboti paraleli – scurt istoric

Primele consemnări teoretice legate de structurile cu lanț cinematic închis sunt menționate în 1645 în scrierile lui Christopher Wren, apoi, în 1813 în lucrările lui Cauchy, în 1867 de către Lebesgue iar mai târziu, în 1897 de Bricard.

Prima construcție cu structură paralelă îi aparține lui J.E. Gwinnet, care dezvoltă, în 1928, un mecanism paralel pentru industria cinematografilei.



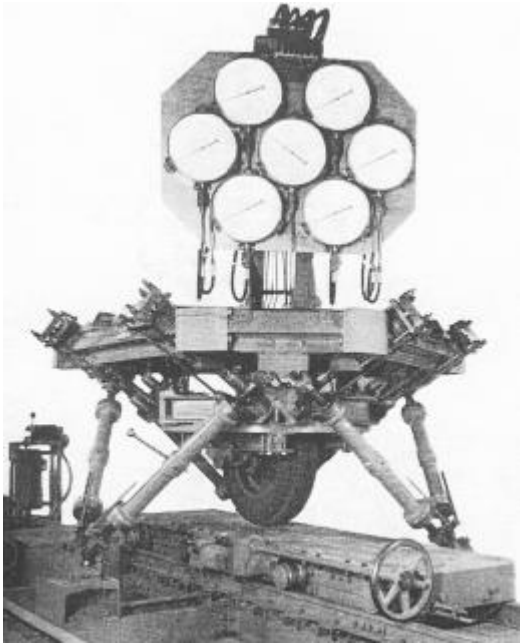
Mecanismul propus de Gwinnet [Mer 06]

Roboti paraleli – scurt istoric

Următorul sistem cu structură paralelă care a stat la baza unuia dintre cei mai studiați și cunoscuți roboți paraleli este **platforma Gough** din 1947. Descrisă ca un mecanism cu o platformă mobilă conectată la o bază fixă prin șase brațe de lungime variabilă, platforma Gough a fost folosită pentru testarea uzurii pneurilor în cele mai variate condiții de exploatare. Din 1965, această configurație paralelă (într-o formă puțin modificată) este propusă ca și soluție pentru dezvoltarea simulatoarelor de zbor de către Stewart. Deși varianta exactă propusă de Stewart nu a fost aplicată în practică până în prezent, din acel moment, ca o ironie a sorții, platforma Gough este cunoscută sub numele de platforma Stewart.

Roboti paraleli – scurt istoric

Hexapodul: Platforma Gough? Stewart? Cappel?



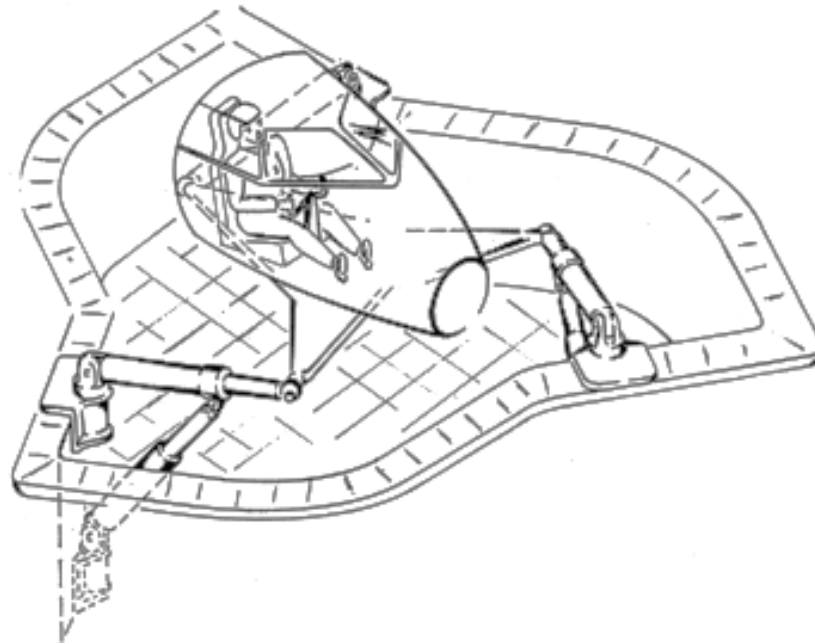
Platforma Gough (1947)



Platforma Gough (2000)

Roboti paraleli – scurt istoric

Hexapodul: Platforma Gough? Stewart? Cappel?

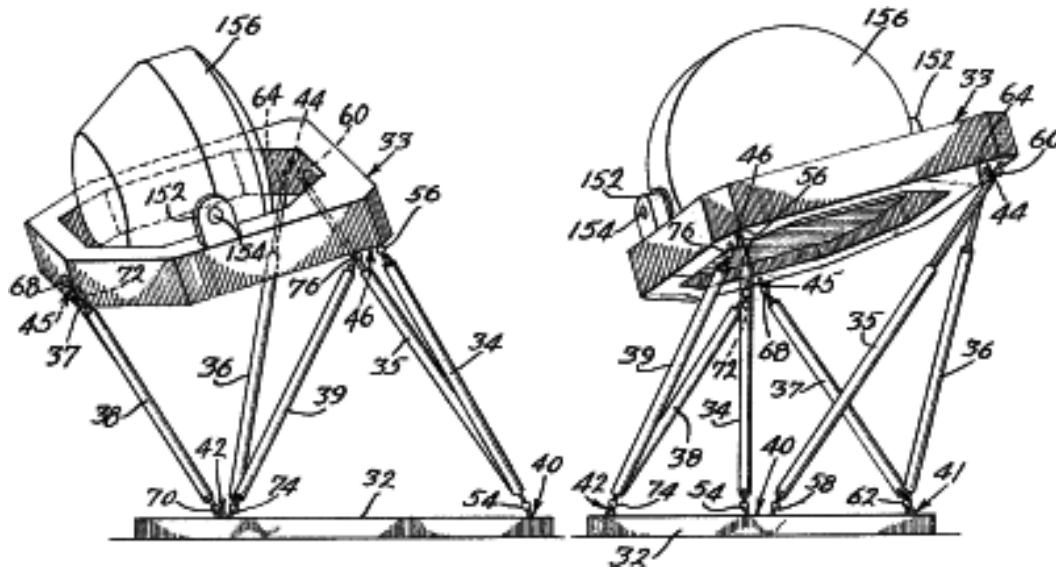


Unica platforma Stewart (1965)

!!! Prima lucrare care face publica
ideea utilizarii unui hexapod pentru
simulatoare de zbor

Roboti paraleli – scurt istoric

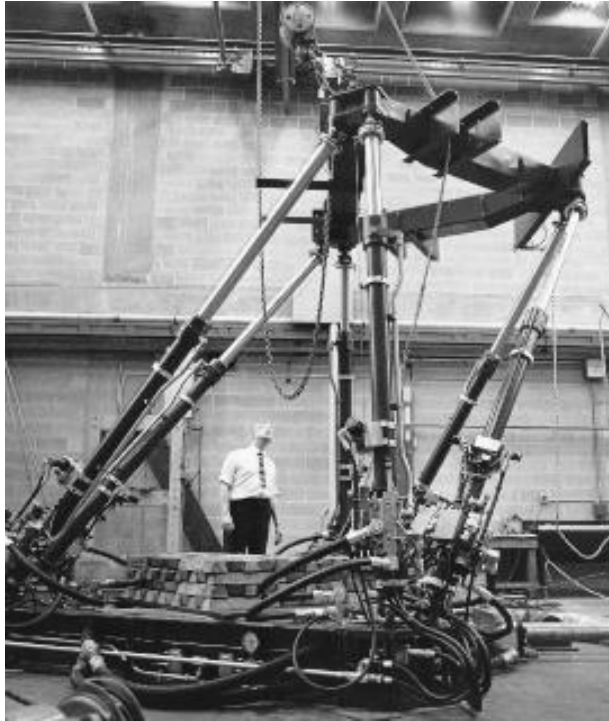
Hexapodul: Platforma Gough? Stewart? Cappel?



Extras din brevetul obtinut in 1967 de Klaus Cappel, pentru un simulator de zbor (brevetul a fost depus la sfarsitul anului 1964)

Roboti paraleli – scurt istoric

Hexapodul: Platforma Gough? Stewart? Cappel?



Primul simulator de zbor realizat de Klaus Cappel

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii

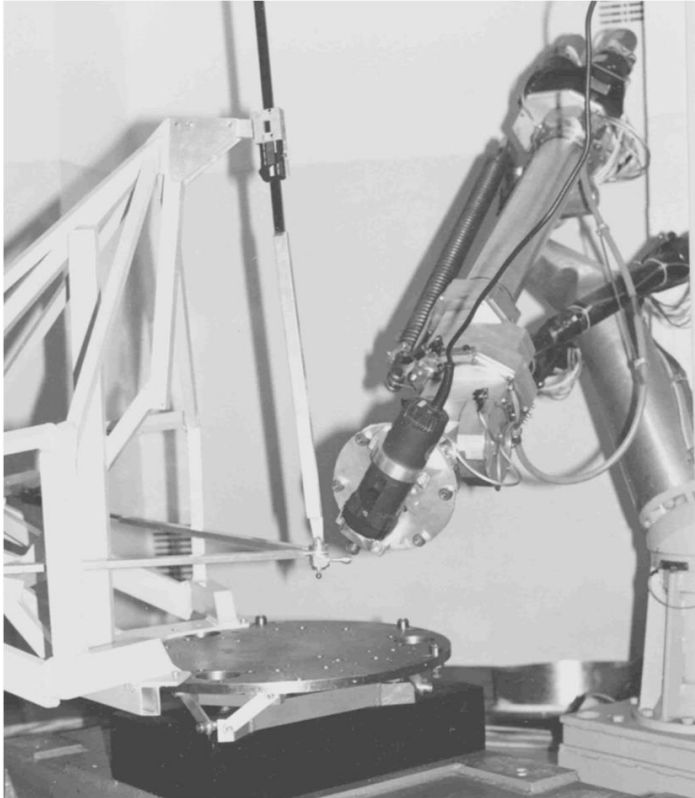
Structurile paralele se pot împărți în:

- structuri complet paralele, ale căror efector final este conectat de platforma mobilă prin lanțuri cinematice închise;
- structuri hibride sau mixte care constau dintr-o combinație de structuri seriale si paralele.

Intenția de a dezvolta structuri hibride a rezultat din dorința de a combina avantajele date de structurile paralele (rigiditate, precizie, dinamică bună) cu cele ale structurilor seriale (flexibilitate, mobilitate, spațiu de lucru mare).

Exemple de astfel de roboti sunt: robotul MC 560 dezvoltat de firma MULTICRAFT A.S. Company folosită pentru rectificare si robotul TRICEPT HP₁ utilizat pentru operații de asamblare (firma Comau).

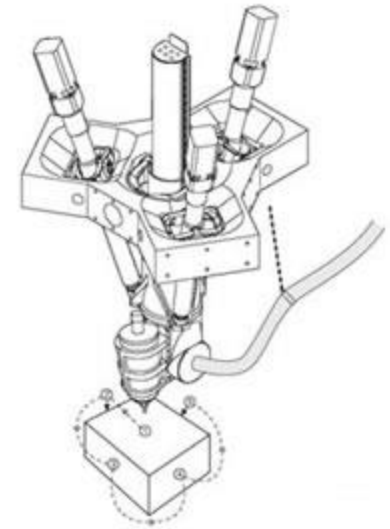
Roboti paraleli – Exemple si aplicatii



Robotul MC 560



Robotul TRICEPT



Roboti paraleli – Exemple si aplicatii



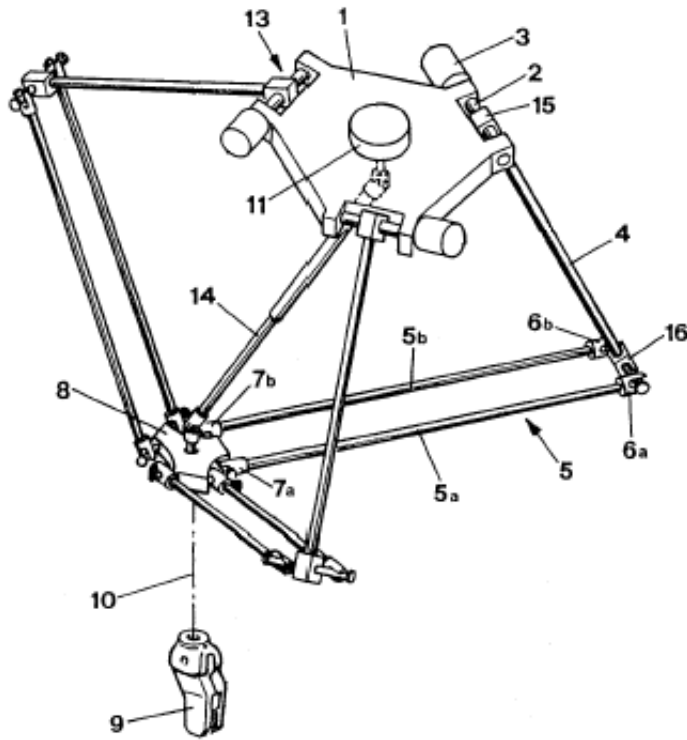
**Robotul paralel generalizat HEXA
(Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca)**

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii



**Robotul paralel PORTYS
(Universitatea Tehnică din Braunschweig, Germania)**

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii



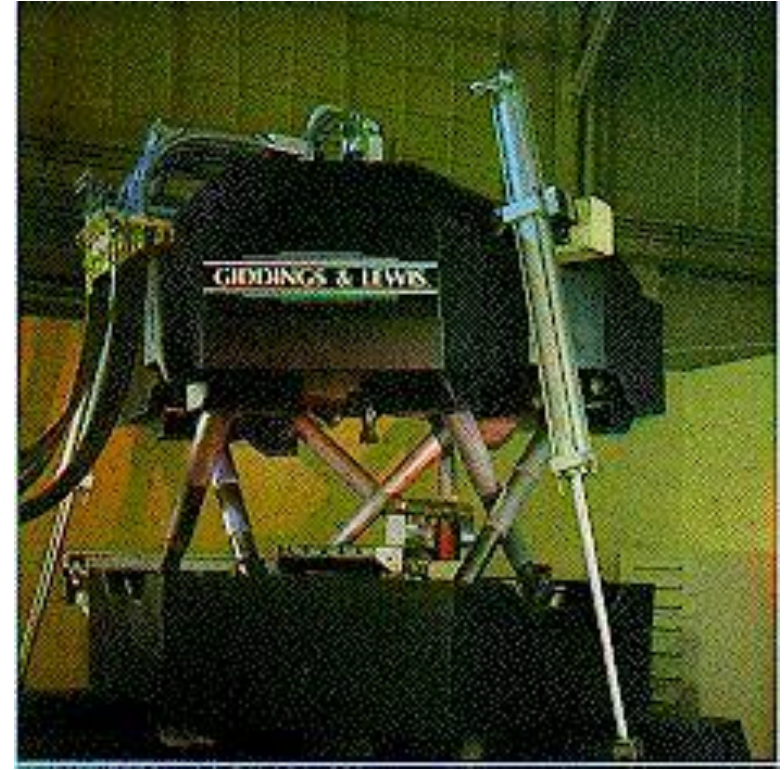
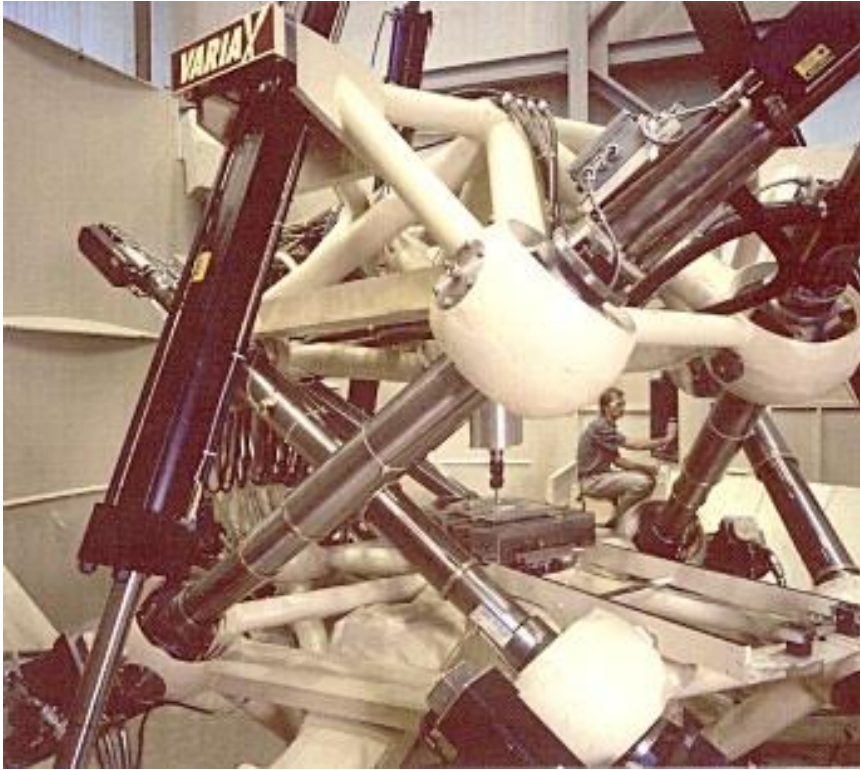
Robotul paralel DELTA
Dezvoltat de Prof. Reymond Clavel

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii



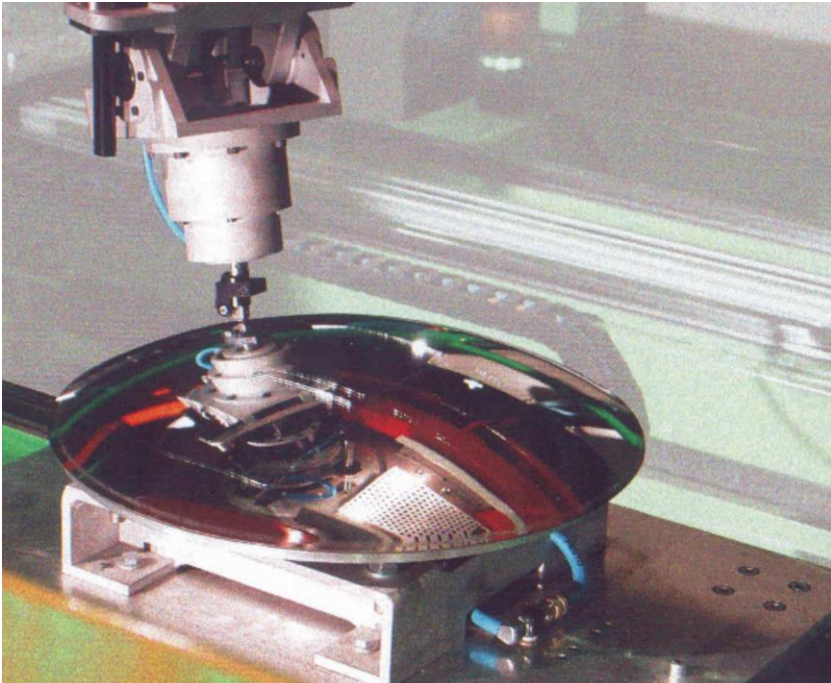
Robotul paralel DELTA
Dezvoltat de Prof. Reymond Clavel

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii



Mașina-unealtă VARIAX cu structură paralelă

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii



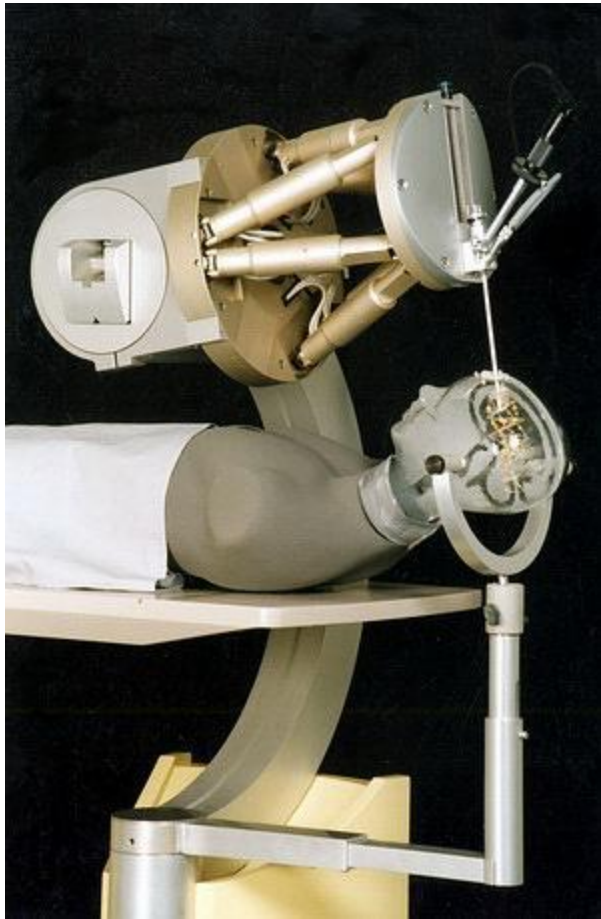
Mașina unealtă paralelă de tăiere a oglinzilor sferice

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii

**Prototipul unei prese cu
structură paralelă
(Universitatea Tehnică din
Braunschweig)**



Roboti paraleli – Exemple si aplicatii



**Dispozitiv de poziționare fină
de tip Hexapod, si aplicatia
acestuia in neurochirurgie**

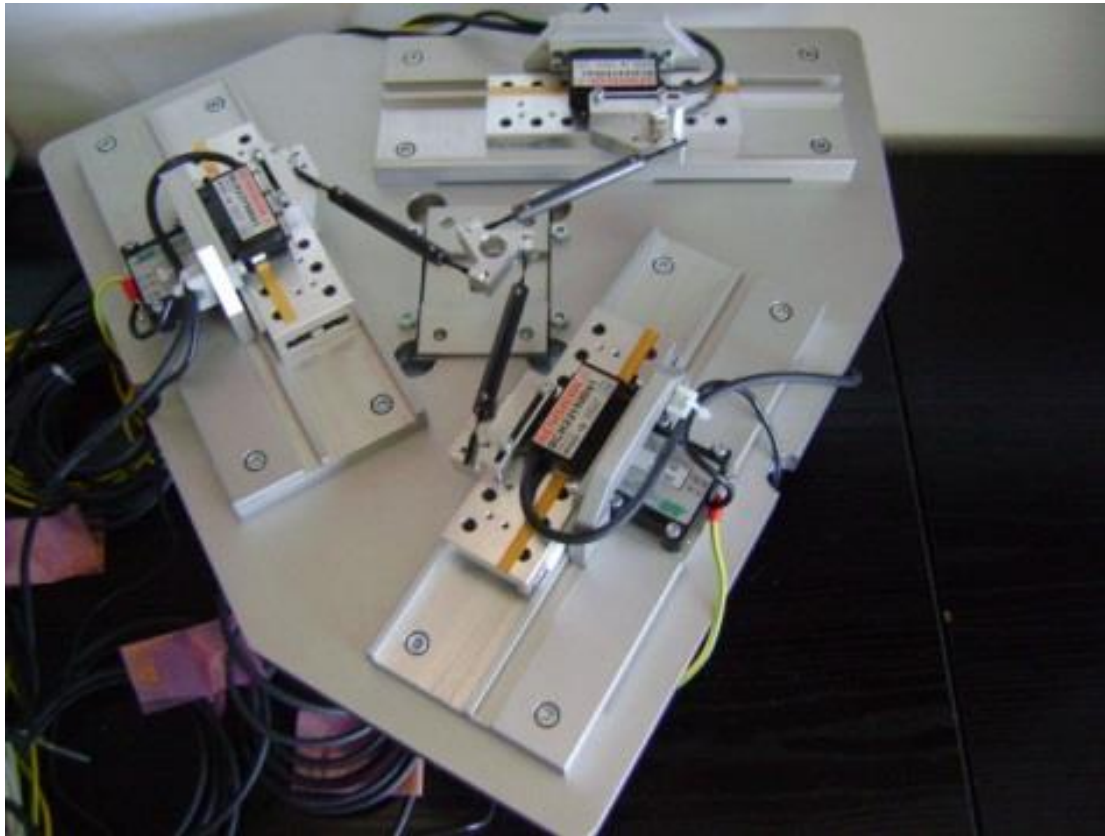
Roboti paraleli – Exemple si aplicatii



Robotul paralel TRIGLIDE

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii

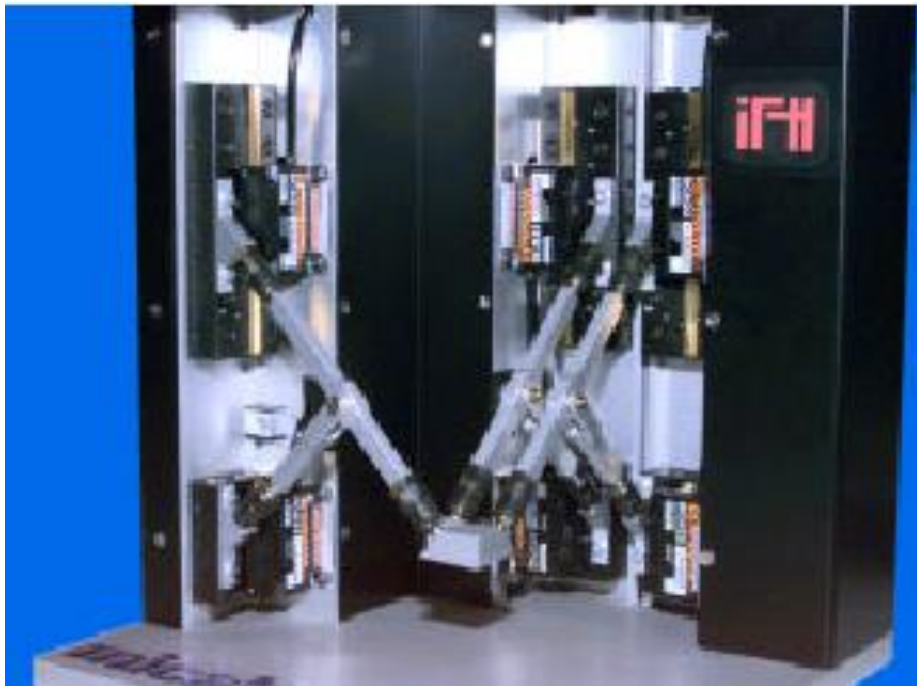
Mini si Microroboti pentru manipulari ultraprecise



Microrobotul paralel MICABO

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii

Mini si Microroboti pentru manipulari ultraprecise



Microrobotul paralel MICABO-h

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii

Mini si Microroboti pentru manipulari ultraprecise



Microrobotul paralel MICABO-f

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii

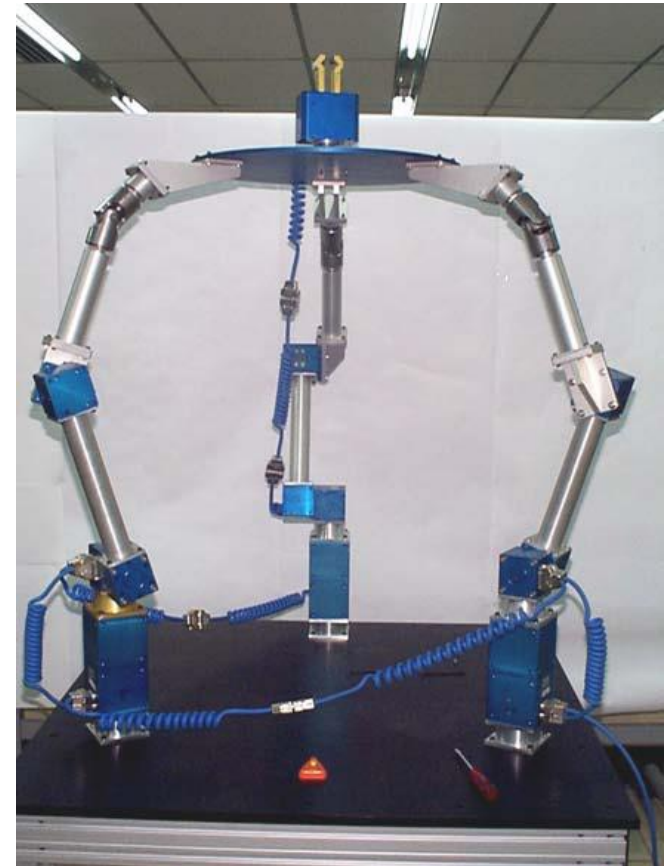
Mini si Microroboti pentru manipulari ultraprecise



Minirobotul paralel paraSPREAD

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii

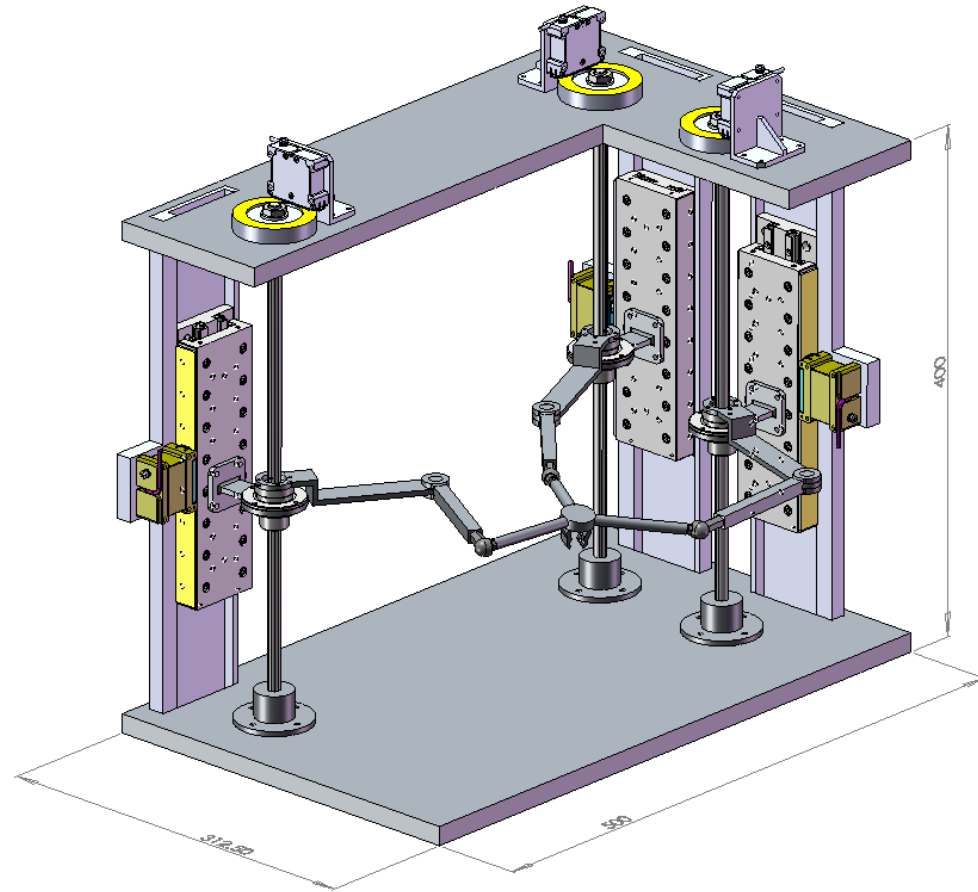
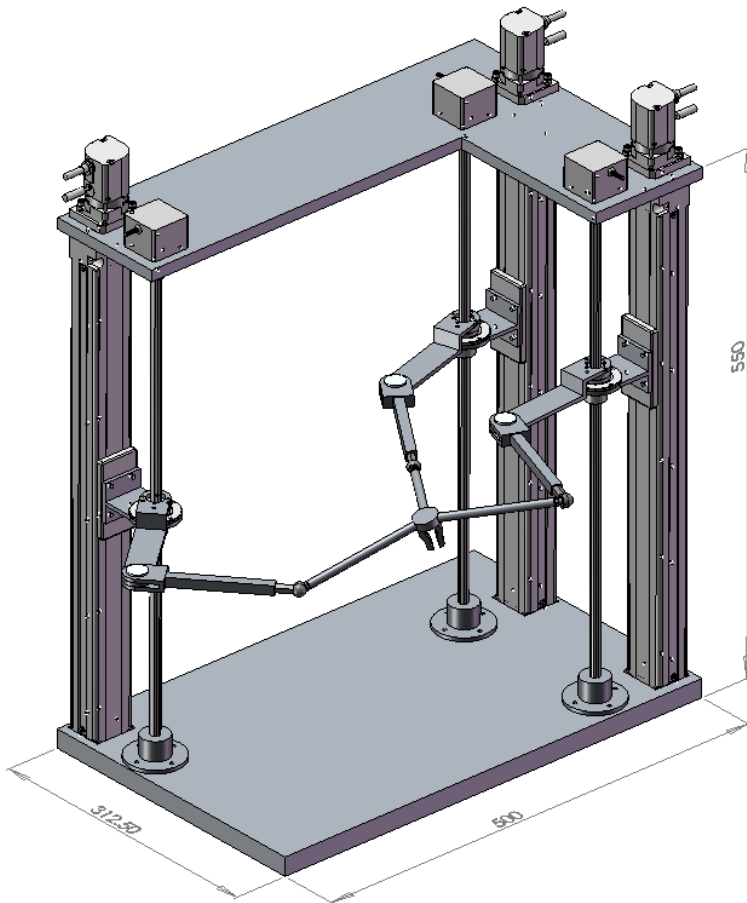
Roboti reconfigurabili



Robot paralel reconfigurabil de tip RPRS (stanga) si RRRS(dreapta) cu 6 GDL

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii

Roboti reconfigurabili



Robotul reconfigurabil RECROB

Roboti paraleli – Exemple si aplicatii

Dispozitive haptice



Roboti paraleli - caracteristici

Poziționarea motoarelor pe batiu

La roboții paraleli, motoarele se găsesc pe batiu sau în apropierea acestuia, ceea ce face ca masele în mișcare să se reducă mult față de cazul roboților bazați pe structuri seriale. Acest lucru face posibilă reducerea maselor la execuția constructivă a elementelor componente fără ca rigiditatea întregului sistem să fie prejudiciată. Prin aceasta crește capacitatea dinamică a sistemului și scade greutatea sistemului;

Roboti paraleli - caracteristici

Poziționarea motoarelor pe batiu

La roboții paraleli, motoarele se găsesc pe batiu sau în apropierea acestuia, ceea ce face ca masele în mișcare să se reducă mult față de cazul roboților bazați pe structuri seriale. Acest lucru face posibilă reducerea maselor la execuția constructivă a elementelor componente fără ca rigiditatea întregului sistem să fie prejudiciată. Prin aceasta crește capacitatea dinamică a sistemului și scade greutatea sistemului;

Roboti paraleli - caracteristici

Rigiditatea

Cu ajutorul structurilor cu cinematică paralelă crește rigiditatea robotului. Comparând un lanț cinematic deschis cu trei articulații și un lanț cinematic închis format din cinci articulații cu trei grade de libertate a rezultat o reducere a deplasărilor datorate forțelor exterioare cu până la 60% [THO99].

Deoarece platforma de lucru este susținută prin mai multe lanțuri cinemate, forțele de reacțiune pe lanțurile componente sunt mici, astfel încât este posibilă obținerea unui raport satisfăcător între masa obiectului manipulat și masa robotului. Mărirea rigidității sistemului poate fi utilizată în cazul microroboților pentru obținerea unor precizii de poziționare ridicate și pentru gabarite foarte mici.

Roboti paraleli - caracteristici

Miniaturizarea

Datorita rigidității ridicate și a maselor mici în mișcare, elementele componente ale roboților paraleli pot fi mai ușor executate. Acest lucru reduce necesarul puterii în sistemul de antrenare.

În cazul roboților paraleli se pot construi sisteme de acționare cu motoare bazate pe corpuri solide (de exemplu motoare piezo - aliaje cu memorie). Aceste motoare nu pot fi utilizate în cazul structurilor seriale datorită puterii lor de antrenare mici. Cuplele pasive ale structurilor paralele contribuie la miniaturizarea sistemului;

Roboti paraleli - caracteristici

Precizia de poziționare si repetabilitatea








Datorită rigidității ridicate a structurilor paralele crește precizia de poziționare și repetabilitatea. La roboții paraleli, erorile din elementele componente și din cuple nu se cumulează ca și în cazul roboților seriali [THO99]. Structurile paralele au mai degrabă caracteristici compensatorii care sunt avantajoase în micromontaj și simplifică sistemul de reglaj și comandă;

Roboti paraleli - caracteristici

Separarea motoarelor de spațiul de lucru

Datorită faptului că motoarele sunt poziționate pe batiu ele pot fi separate de spațiul de lucru al structurii paralele. În acest mod pot fi izolate alimentarea cu energie, cablurile de alimentare și comunicare facilități. Acestea îmbunătățesc capacitatea sistemelor robotizate de a lucra în mediu curat sau în mediu aseptice.

Roboti paraleli vs Roboti seriali

Tendința	Caracteristica	Robot Serial	Robot Paralel
	Precizie	Medie - mica	Foarte mare
	Repetabilitate	Medie - mare	Foarte mare
	Raport masa proprie / masa manipulată	Foarte mare	Mic
	Spațiu de lucru	Mare	Mic
	Rigiditate	Mică	Mare
	Viteze, accelerații	Medii	Foarte mari
	Mase în mișcare	Mari	Mici

Roboti paraleli vs Roboti seriali

Caracteristica	Roboti seriali	Roboti paraleli
Lant cinematic	Deschis	Inchis
Cuple utilizate in constructie	Active	Active si pasive
Modelarea cinematica directa	Simpla, cu solutie unica	Complexa, de multe ori cu solutie multipla
Modelarea cinematica inversa	Complexa, de multe ori cu solutie multipla	Simpla
Erorile din cuple	Cumulative	Necumulative
Singularitati	Pierderea unor grade de mobilitate	Pierderea sau castigarea unor grade de mobilitate
Domeniul de singularitati	Pe invelitoarea spatiului de lucru	Pe invelitoarea si in interiorul spatiului de lucru

Roboti paraleli – exemple (video)

Robotul DELTA

- Aparitie
- Capabilitati de miscare

Cresterea spatiului de lucru

- Aplicatie pe un mecanism pentalater

Metode de prelucrare

- Masina unleata VARIAX

Roboti dezvoltati in colaborare cu IWF Braunschweig

Roboti dezvoltati in centrul de cercetare CESTER