

↓
"Control"

Robotul = Instalatie tehnica

Procesul controlat: proc. de miscare ← obt. prin conjunctia m. multor
miscari individuale → g.l. → d. o f.

(grad libertate) g.l. - obt. asociind un segment cu o articulatie

1. Roboți industriali → manufacturing → mediu industrial
- proc. - asamblare / montaj

- prelucrare: vopsire, finisare, slefuire

2. Roboți fixi - fixati in 3 moduri

pe sol
pe tavan - ABB
pe banc de lucru (top table)

3. Roboți rigizi - nu sunt flexibili

⇒ 5 cl. imp. de roboți industriali

1. Cartezian - 4 g.l. - f. precis

2. Cilindric

3. Sferic (polar)

4. Articulat vertical (antropomorfic)

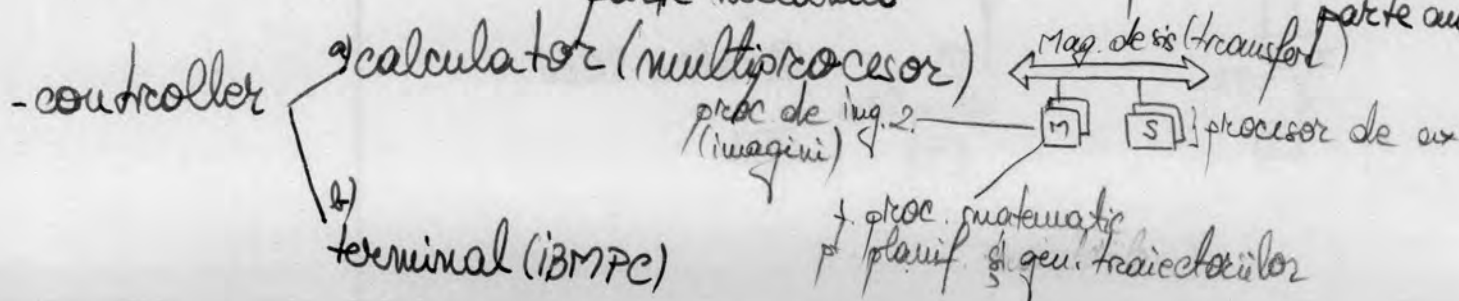
4, 5, 6 g.l.

5. Articulat orizontal (SCARA - Selective Compliant Assembled
Robot Architecture) - 4 g.l. - f. precis

1, 2, 3, 4, 5 → manipulator

Terminologie

Sistem robot - compus din manipulator (robot manipulator) + controller
parte mecanică parte aut.



- terminal PC $\left\{ \begin{array}{l} \text{editare prog} \\ \text{interfață om-mășină} \end{array} \right.$

- nr. proc. de ax = nr. g. l. = "n"

- prim. proc. de ax se fac măsurări de deplasare

modul de învățare (Teach Box, Teach pendant, Manual Control Pendant - MCP)

- producător: Adept Technology (rei din lab)

- 2 tipuri de operații și $\left\{ \begin{array}{l} \text{instrucțiuni prog (IP)} \\ \text{comenzi monitor (CM)} \end{array} \right.$

- 2 etape: $\left\{ \begin{array}{l} \text{învățare (configurare)} \\ \text{operare - fol. în t.r.} \end{array} \right.$ - Learning $\rightarrow 12 \text{ ore} \rightarrow \text{CM}$
 $\rightarrow 1 \text{ minut} \rightarrow \text{IP}$

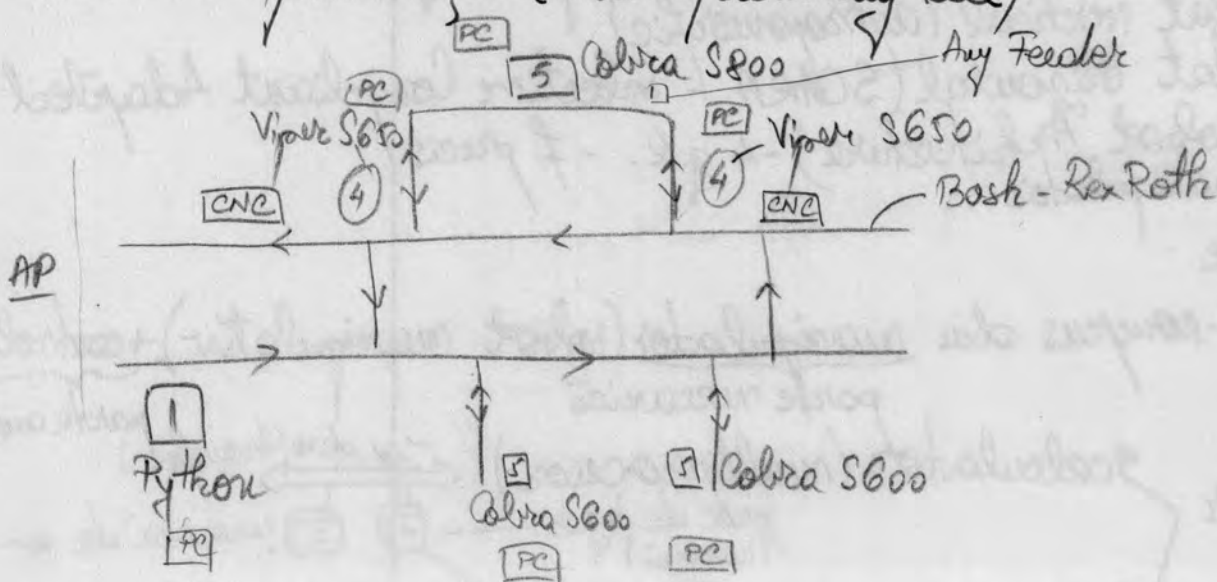
Manipulator robot = brat + efector terminal (end-effector)

3 segmente
 permite realizarea a 3 g.l.

$\rightarrow$ TMF: tool mounting flange (distanțier) - parte de leg
 $\rightarrow$ gripper - permite 1, 2 sau 3 g.l.
 $\rightarrow$ tool - poate să 7 sau nu

- roboți industriali cu 4 g.l. - 6 g.l.

celulă de fabricație (Manufacturing cell)



lab. SCR

- la lab - V^+ $\rightarrow$ Adopt Vision

Bibliografie:

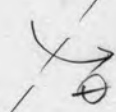
1. Adopt User Manual
2. Adopt User Guide
3. Adopt Vision User Guide
Reference Guide
4. "Programarea robotilor", Ed. AGIR, 2011, Th. Borangiu, Fl. Anton
Al. Dumitrache $\rightarrow$ probl. serie in V^+
5. "Robot modelling and Simulation", Th. Borangiu, Ed. Academia Romane, 2004. $\rightarrow$ teorie
"Robot modelling and Simulation. Problems", Th. Borangiu,
Fl. Jonescu, Dan Stefanou, Ed. Academia Romane, 2006
6. "Advanced Robot Motion Control", Th. Borangiu, Ed. Academia Romane, 2005
7. "Intelligent Image Processing in Robots and Manufacturing",
Th. Borangiu, Ed. Academia Romane, 2006.

Natura misc asigurate de 1 g l.

$\rightarrow$ tip articulatie $\rightarrow$ SIMPLA

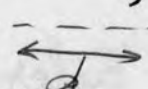
1. Articulatie de rotatie (R)

dir. axei de rotatie este fixa



2. Articulatie de translatie (T) - sau prismatica

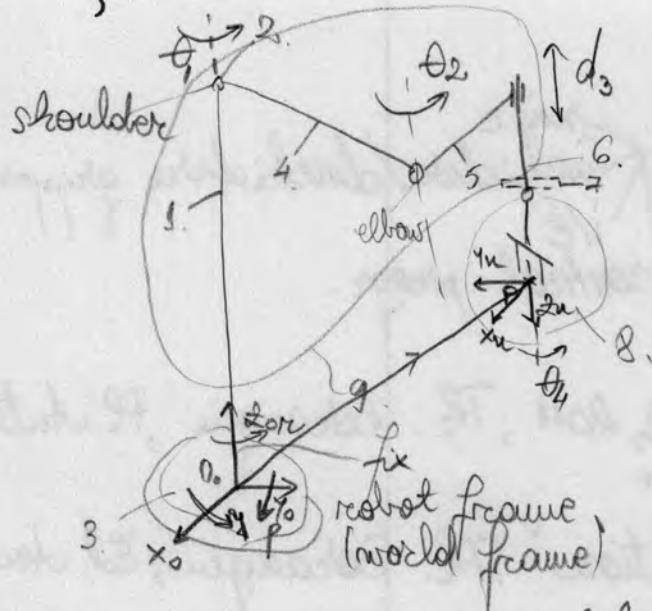
dir. axei de rotatie este fixa



• la cl. de roboti:

1. PPP	3. RRP	5. hibrid RRP
2. RTP	4. RRR	

Schita unui robot SCARA



1. bobina fixă antrenată de un motor
2. articulație de rotație
3. bază fixată ferm
4. brat interior
5. brat exterior
6. tijă
7. TTP
8. efectuator terminal
9. brat

$\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_4$ - joint variables $\rightarrow$ ans. formează un sp. articulațiilor, $\mathbb{R}^n$
 variabile în articulații (var. interne)

$n=4$, q_i $1 \leq i \leq n$, q -var.

$$q = [q_1 \ q_2 \ q_3 \ \dots \ q_n]^T$$

P - pct. condus - ceea ce ne interesează când știm că se mișcă robotul

- lui P se asociază un sg. sis. de coordonate

z_n - aliniat cum se vede în fig (axe de mișc: $z_n(\bar{a})$)

y_n - aliniat cu dir. de închidere/deschidere a degetelor.
 - axă slide

x_n - aliniat cu normala $x_n(\bar{n})$

$\rightarrow$ sau pct. are comp. $x, y, z, \tilde{p}, \tilde{r}$. (în robotică)
 pr. lui x pe dir x_0, y_0, z_0

- în mod. min. - 3 comp. ce exprimă rotațiile $\rightarrow$ set Euler (set de

- y - yaw
 - p - pitch
 - r - roll

x_0, y_0, z_0 - sis. de coordonate al lumii, fix

x_u, y_u, z_u - sis. de coordonate al robotului, ~~lumii~~ mobil, condus.

- model geometric - direct
 invers.

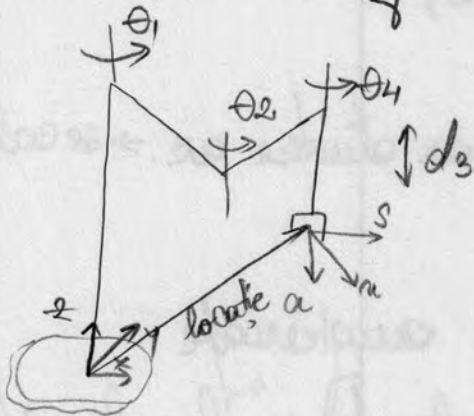
Integrare R_i cu s.s. de V.A.

VA - vedere artificială

R_i - robot industrial

Cinematică directă

- plecând de la fiecare ^{articulație} ~~rotativă~~ + info segment
 $\Rightarrow$ C.O. $\Rightarrow$ cu geometrie pot să det. locație } poziție
 } orientare



$a=2$

n = normală pe pl. celor 2 degete ale gripperului

Δ - slide = dir. în care se deschide/închide gripperul.



$P(\text{poz. ob.}) \Rightarrow$ poz. robotului direct sunt calc

$(x, y, z, \Delta x, \Delta y, \Delta z)$

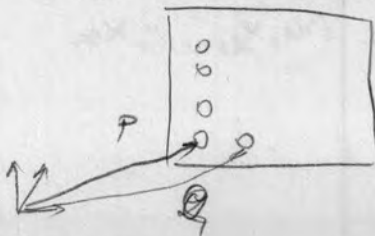
Cinematică inversă

- având o locație calculată anterior

$$H_{TM} \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 1} \\ P'_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix}$$

$P'_{1 \times 3}$ - distorsiunea de perspectivă

$R_{3 \times 3}$ - matricea de rot
 $P_{3 \times 1}$ - vect. de poz.
 (rot pe x, rot pe y,
 rot pe z)
 1 - factor de scalare



locatie + info seq $\Rightarrow [c_i] \Rightarrow z_{0, \dots, n}$ (rezulta un set de rotatii absolute)

$z_i \rightarrow z_f$ (Ca să ajung la un z_{final} dintr-un $z_{initial}$ treb. să calc. un set Δz)

-trab. făcute mișc. în spațiul articulației - f. spl. (SA)
-fct. pe baza princ. axi conducătoare în sp. cartezian (SC)

a) S.A.

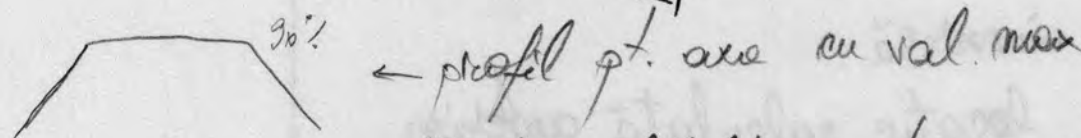
Avem $\Delta z_0, \Delta z_1, \dots, \Delta z_n \Rightarrow$ se alege max dintre ac. $\Rightarrow$ se calc. drumul cel mai lung.

$\Delta z_1 = \max(\Delta z_0, \dots, \Delta z_n) \Rightarrow$ set de angrenaje

Angrenaje $= \frac{\Delta z_0}{\Delta z_1}, 1, \dots, \frac{\Delta z_n}{\Delta z_1} \Rightarrow$ set de val subunit.

$\rightarrow$ ce sunt trecute în reg. atasate la sis. de comandă al controlerului de mișc.

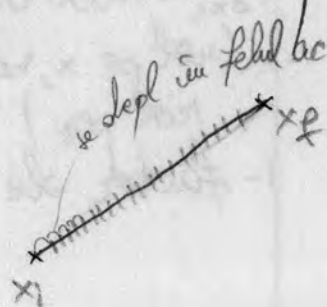
$\rightarrow$ căre fiecare axă se dă comandă ca axa să se deplaseze cu Δz_1 , scalată cu $\frac{\Delta z_0}{\Delta z_1}$



$\leftarrow$ profil p. axe cu val. max

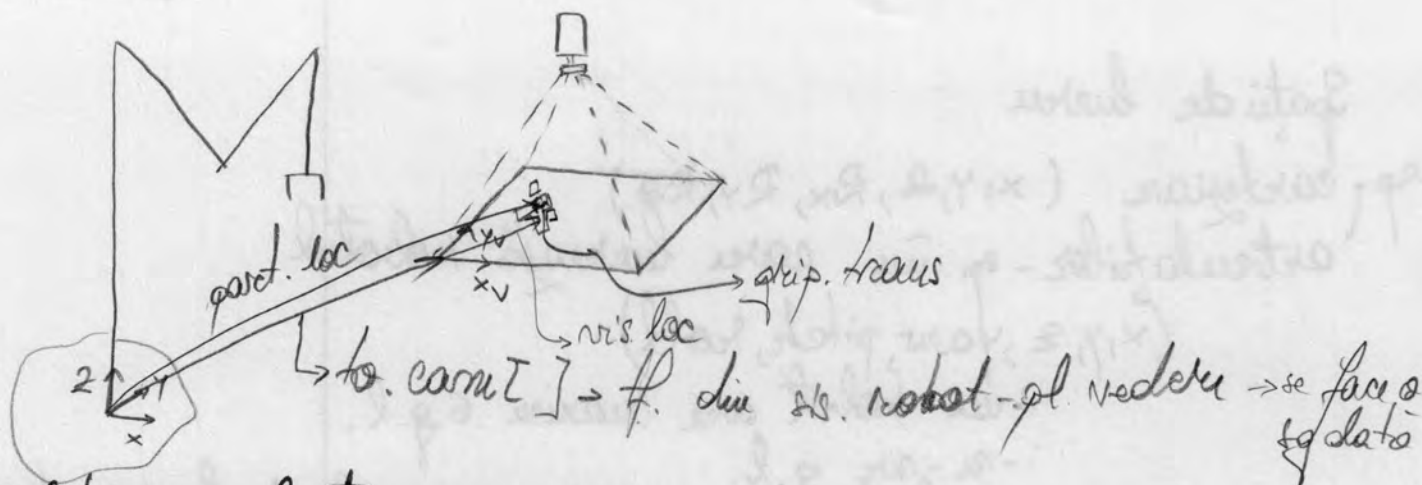
O axă este urmărirea de celelalte axe (cea urmărirea este cea cu val max) $\Rightarrow$ princ. axi conducătoare.

b) SC



$\leftarrow$ treb. să calc. distanța între un pt. inițial și altul final $\Rightarrow$ se segmentează

- se gen. un vector de poz $(x_1, x_2, \dots, x_n)$



- calibrare electromecanică
- calibrarea camerei
- calibrare cameră-robot

- se obt. rap: mm/pixel - ar treb. să fie cât mai mic.
 x/y - ar treb. să fie 1.

- calibrarea se face de oricâte ori se mișcă pl. vederei sau robotul

- vis. loc ff din pl. vedere în centru de masă a obiectului
 ↳ se calc. din toți pixelii cîi compun
 ↳ se calc. în mom. ex. prog.



↳ un obiect - încadrăm ob. într-o elipsă
 - axă de inerție min & axa mare a elipsei -> trece prin centru de masă

- axa de inerție min - dă orientarea obiectului

- grip. trans - se face off-line

- comp. celor 3 ff: po set part. loc = to. cam [cam] : vis. loc :
 grip. trans. ↳ se referă la o cam. virtuală

Spațiul de lucru

- sp. cartezian (x, y, z, R_x, R_y, R_z)
- articulațiilor - sp. în care lucrează robotul
($x, y, z, yaw, pitch, roll$)
 - un robot are maxim 6 g.l.
 - n - nr. g.l.
 - roboți cu > 6 g.l. s.n. roboți hiperredundanți
- între cele 2 sp. ne mișcăm cu q : C_1 și C_i
Comando mișc.
- pl. mișc $\rightarrow$ învătarea pct. de interes
- gen. mișc $\rightarrow$ parte sf.
- urmărirea traiectoriei

C_0 - de la articulații la x, y, z
- are o sq. sol.

C_i - de la x, y, z la articulații
- are mai multe sol.

Robot cartezian - precizie f. bună

Subiecte de examen

- tip roboți (descrieri)
- comando mișc.

$$* S_a = \sin \alpha$$

$$* C_a = \cos \alpha$$

Spatii în robotică

← sp. exprimă mișcarea (3 sp)

1. Spatiul articulaturilor (pt. modelarea structurii care realizează mișcarea) = sp. var. interne

- n. dimensional

- vect. articulaturilor: $q \in \mathbb{R}^n$, $n = \text{nr. g.l.}$; $4 \leq n \leq 6$ articulație de

- q : $n=4$ $q = [q_1, q_2, q_3, q_4]^T = [\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4]^T$ translate
(joint space, joint var)

var. rotatic. det. de artic. de revolute

- gripperul poate avea un nr. de articulații

r = roll

p = pitch

y = yaw

1, (r)
2 (p, r)
3 (y, p, r)

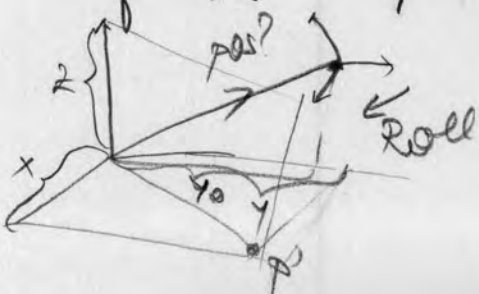
- două modele $\leftarrow$ model cinematic direct (DK) $\leftarrow$ invers (IK) far leg.

Intre sp. articulaturilor & sp. operational

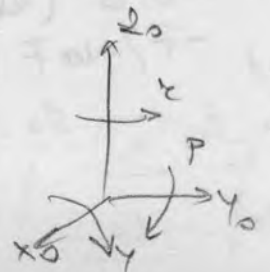
2. Spatiul operational (pt. descrierea aplicațiilor) - caz particular - sp. cartezian

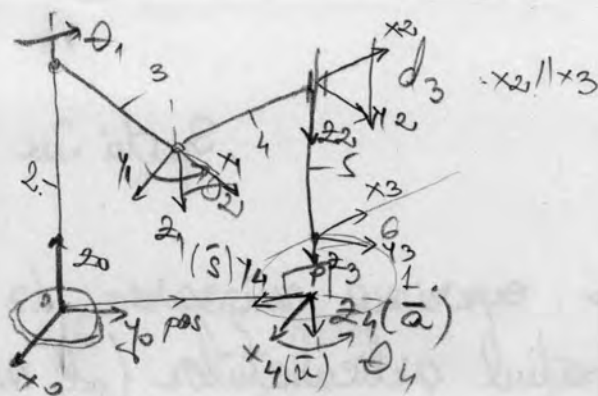
- n. dimensional

- vect. poz & orientare care descrie mișcarea: x ce înglobează inf. despre pos, Roll, $x \in \mathbb{R}^n$, $n \neq n$ în general



- pos: $\rightarrow x, y, z$.
Rot = y, p, r





1. end-effector $\rightarrow$ end-tip-point
2. link₀ = segment 0
3. link₁
4. link₂
5. link₃
6. link₄

15. Slide

$\bar{\mu} = \text{normal}$

P - pct. la marg. degetelor
(se translateaza la capatul
extremalitei sau uneltei
in care lucreaza robotul)

- 1 g. $\ell \leftarrow$ 1 link - 1 joint

-param eqm. arctic s. u. param Demaree - Harkness (1950)

! ~1980 Paul, Luk, Warner → alga ALSPA. → Varată cum se
! x_1, x_2, x_3 - în prelungirea brațelor robotului
! y_1, y_2, y_3 - normale
speciile mîșc.
sîs. de coord
i în fîl. de
se i-1

$$SC_1 \leftarrow SC_0$$
$$SC_2 \leftarrow SC_1$$
$$SC_n \leftarrow SC_{n-1}$$
$$SC_n \leftarrow f(SC_0)$$

- fengs-indicatori binari, c.e.s.n. configuratori
- L/R (left-right)

- L/R (left - right)

- U/D (elbow up-down)

$-F/\text{no } F$ (flipp-no-flipp)



Problematice conducere (control automat) a mișcării

- 3 procese:
- planificare (planning)
 - generarea traiectoriilor (trajectory generation)
 - realizarea urmărirea/reglarea traiectoriei (trajectory tracking)

- mișc. robotului - realizate prin secvențe de mișc. def.

prin $\rightarrow$ pct. initial
 $\rightarrow$ pct. final
 $\rightarrow$ specificarea căii (don) - geometrie $\leftarrow$ path

linie dr în sp. cartezian $\times$ $\{ \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4 \}$

$\{ \theta_{1i}, \theta_{2i}, \theta_{3i}, \theta_{4i} \}$ - curbă liniară în sp. articulatilor

$$\theta_{1i} - \theta_{1f}$$

$$\theta_{4i} - \theta_{4f}$$

$$\Delta q_i = \max_{i \in \{1, 2, 3, 4\}}$$

$$v_i = \max$$

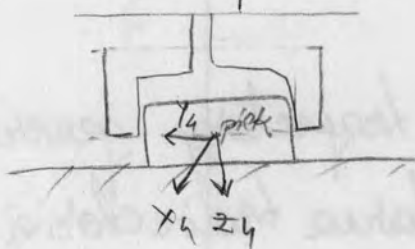
$$v_i = v_i \cdot \frac{\Delta q_i}{\Delta q_i}$$

- la automate programabile secvențiere
 RN (reglare numerică)
 Motion Control

- N1 75 31 - 8 axe de mișcare - electronic gearing = "axă conducătoare")



$-p_i, p_f$ - se obțin prin „învățare” pe robot (la vedere artificială se estimează)



HERE pick → un pct. în sp. operational
 HERE ~~pick~~ → $\underbrace{x, y, z}_{pos}, \underbrace{R_x, R_y, R_z}_{roll}$ - transf. relativă
 → „pct de precizie”

$p_2 + orientare = \text{amplasament} = \text{„pct robot”} = \text{locatie}$

$g \xrightarrow{dk_i} x$ dk_i - cinematică directă implicită
 $dk_i \in \text{---}$ - explicită

Obs: dk_i - var. numerice a lui x_k

pct. de precizie îi corespunde aus $g_1 \dots g_n$ (val. var. numerice)

$HTM \leftarrow dk_i$
 → instrument operational

$$HTM \rightarrow \begin{bmatrix} Rot & pos \\ f_1 & f_2 & f_3 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 4} \begin{matrix} x \\ y \\ z \end{matrix}$$

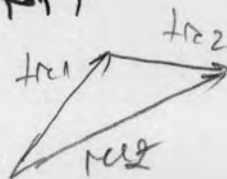
→ fără vedere $f_1 = f_2 = f_3 = 0$
 cu vedere $f_1 \neq f_2 \neq f_3 \neq 0$

$$Rot = [\bar{n} \quad \bar{s} \quad \bar{a}] = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x \\ n_y & s_y & a_y \\ n_z & s_z & a_z \end{bmatrix}$$

90°

$$\begin{aligned} n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 &= 1 \\ s_x^2 + s_y^2 + s_z^2 &= 1 \\ a_x^2 + a_y^2 + a_z^2 &= 1 \end{aligned}$$

Compuțarea transf. de precizie pick: $stack \equiv \dots \cdot HTM$
 (compuțarea a 2 #. înserăm înmulțirea cu matricea HTM)

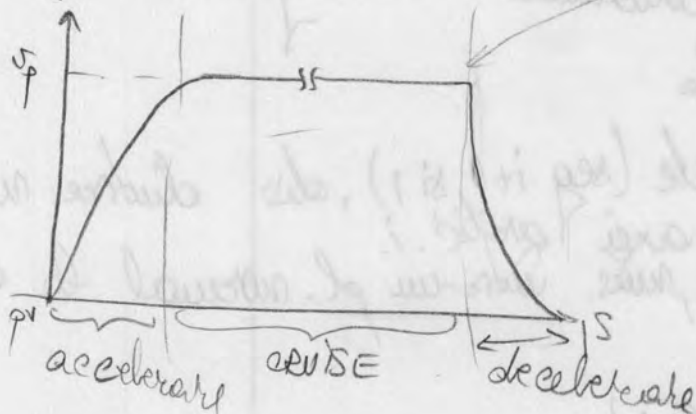


$$HTM_1 \cdot HTM_2$$

Generarea mișc.

linie de
 P_i P_f

→ rob. asociate un profil de rit



← constr. o mulțime de punct suport

cale + profil rit = traiectorie

Cinematica directă (DK)

15-03-2012

- robot: laud cinematic deschis

4.1. Sis. de coordonate ale seg. și param săi

- atașăm fiecărei segm. un sis. de coord și îl exprimăm în fel. de precedentul.

- scop DK: det poz și orientare efector terminal ca o fel. de var. articulatilor.

- P_0 și orientarea unui corp rigid rel. la sis. de coord P_0 sunt descrise de:
 - poz. vect. de origine
 - vect. unitari ai cadrului atașat corpului

Feb. Su rel. la cadrul de ref se expr. prin HTM:

$$T = \begin{bmatrix} u^0(z) & s^0(z) & a^0(z) & r^0(z) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- axa articulatiei este st. la converinerea a 2 segm. Axa articulatiei va avea 2 normale atasate

• d_i : poz. rel. a 2 seg. consecutive ($seg\ i+1$ si i), dis. dintre normalele mai s. de-a lungul axei artie. i .

• θ_i : $\angle$ artie. între normale, mäs. într-un pl. normal la axa articulatiei;

$$\theta_i = \angle(n_{i-1}, n_i)$$

- a_i | param. segm. d_i | param. artie.
- α | θ_i

• a_i : dist. min între axele artie i si $i+1$, mäs. de-a lungul normalei comune între axele z_i si z_{i+1}

• $\alpha_i = \angle$ între axele artie i si $i+1$, mäs. într-un pl $\perp$ pe a_i
 $\alpha = \angle(z_{i-1}, z_i) \rightarrow$ unghi de căsăcitură

Obs: fiecare segm are 2 axe de articulatie în afară de $\bar{1}$ și de ultimul

4.2. Reprez. Denavit-Hartenberg

P1 - met. matric de st. sistematică a unui sis. de coord. atasat fiecărui segm.

P2 - $HTM_{4 \times 4}$ descrie fiecare sis. de coord/segm. în artie în rap. cu sis. de coord. atasat segm. ant.

P3: prin comp; cadrul efect. terminal $\Rightarrow f$ și exp. în coord. bază

P4: un sis. poate fi exp. p. fiecare segm.

P5: - artic - 1 g. l. $\Rightarrow (x_i, y_i, z_i)$ - p. artic $i+1$, fixat p. seg i .

P6: - (x_i, y_i, z_i) este fixat în segm. i și se mișcă odată cu segm.

P7:

P8:

B/St. sis. de coord. ale segm. și def. param. sale.

Reg. pt. det sis. de coord. ale segm.

R1: Axa z_{i-1} se află de-a lungul axei de mișc. a artic. i .
• O i este loc. la intersecție z_i cu normale comune la axele z_{i-1} și z_i

R2: x_i - normală la z_i cu sensul de la ea în afară (se alege de-a lungul normalei comune la z_{i-1} și z_i , cu sensul artic $i \rightarrow$ artic $i+1$)

R3: y_i - completează sis. ortonormal de aceeași dr.

Întâi se pun toate $z \rightarrow$ apoi x și apoi y .

Obs: - dc. 2 axe de artic. consec. sunt paralele, normale nu este unică, o alegem noi.

- dc. z_{i-1} și z_i concurente $\Rightarrow$ sensul lui x_i este arbitrar.

- ult. sis. de coord. poate fi plasat oriunde în mișc.,
sq. coord: x_n normală la z_{n-1}

- $O_0 - x_0 y_0 z_0$ în baza suport, sq. coord. z_0 să fie aliniată cu z normală.

- Cu Alg pt. asignarea segm. de coord/segm. și calc. de param.

Pass 1: - se st. sis. ortonormal de coord, de aceeași dr. $(x_0 y_0 z_0)$ la baza suport, cu z_0 de-a lungul axei de mișc. a artic. 1 și indicând către unghiul robotului.

- axele x_0 și y_0 pot fi st. convenabil și sunt normale
la $z_0: (x_0 + z_0, y_0 + z_0)$

Pass2: $\forall i = 1:n$ exe pas 3-6

Pass3: St. axei artic. cu axe che mișc (che rot sau de trans)
a artic $(i+1)$

Pass4: St. originii SC (O_i) : - loc O_i la intersecția z_{i-1} cu z_i ,
sau la intersecție (normala comună a z_i, z_{i-1} și axe z_i)

Pass5: - St. axei z_i
- St. $x_i = \pm \frac{(z_{i-1} \times z_i)}{\|z_{i-1} \times z_i\|}$, sau de-a lungul normalei
comun. la z_{i-1}, z_i ad. $z_{i-1} \parallel z_i$

Pass6: St. axei y_i după reg. mâinii dre.
Așigurate $y_i = + \frac{(z_i \times x_i)}{\|z_i \times x_i\|}$

Pass7: - St. SC al mâinii
% de obicei, artic. n. este de rot. & consideră z_n de-a
lungul dir. axei z_{n-1} , & indicând dinșpre (corect)
robot în a face.
- St. x_n a. $\hat{I}$. $x_n \perp z_{n-1}, x_n \perp z_n$. Așigurate y_n pt.
a completa SC de mâini dre.

Pass8: St. param. artic și ~~reg~~ sequ.
 $\forall i = 1:n$ exe pas 9-12

Pass9: Calc. $d_i = \text{dist}(O_{i-1}, z_{i-1} \cap x_i)$ / de-a lungul axei z_{i-1}

Pass10: Calc. $a_i = \text{dist}(z_{i-1} \cap x_i, O_i)$ / de-a lungul axei x_i

Pass11: Calc. $\theta_i = \widehat{x_{i-1}, x_i}$ / în jurul axei z_{i-1}

Pass12: Calc. $\alpha_i = \widehat{z_{i-1}, z_i}$ / în jurul axei x_i

4.4. Trans. de op. pt. SK cu HTM

- se dă o HTM pt. a raportată SC_i la SC_{i-1}
- în fct. de repetiție.

A) segm. (i-1) și i - artic. de rot. - 1 sg q.l.

- SC de ref: $O_{i-1} x_{i-1} y_{i-1} z_{i-1}$

- SC mobil: $O_i x_i y_i z_i$

- secr. de #: 2 rot. în jurul axei z_{i-1} cu θ_i pt. a alinea axa x_{i-1} cu axa x_i ($x_{i-1} \parallel x_i$ și indică ac sens)

1. trans. de-a lungul axei z_{i-1} cu dist. d pt. a face să coincidă x_{i-1} cu x_i

3. trans. de-a lungul axei x_i cu dist. a pt. a face să coincidă cele 2 origini O_{i-1}, O_i , ~~cât și axa~~ x_{i-1} cu x_i .

4. rot' cu α_i în jurul x_i pt. a face să coincidă cele 2 sis. de coord SC_{i-1}, SC_i

$$A_i^{-1} = T_{z-1, d_i} \cdot T_{z-1, \theta_i} \cdot T_{x_i, a_i} \cdot T_{x_i, \alpha_i} = T_{z, d_i} \cdot T_{z, \theta_i} \cdot T_{x, a_i} \cdot T_{x, \alpha_i} =$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & 0 \\ s\theta_i & c\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\alpha_i & -s\alpha_i & 0 \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} c\theta_i & -c\alpha_i s\theta_i & s\alpha_i s\theta_i & a_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\alpha_i c\theta_i & -s\alpha_i c\theta_i & a_i s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$c = \overset{\text{not}}{\cos}$
 $s = \overset{\text{not}}{\sin}$

Inversa se fol la C_i

Obs : $[A_i^{i-1}]^{-1} = A_{i-1}^i = \begin{bmatrix} c\theta_i & s\theta_i & 0 & -a_i \\ -s\theta_i c\alpha_i & c\alpha_i c\theta_i & s\alpha_i & -d_i s\alpha_i \\ s\alpha_i s\theta_i & -s\alpha_i c\theta_i & c\alpha_i & -d_i c\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \text{inversa este } (A_{i-1}^i)^T$

• în A_i^{i-1} & A_{i-1}^i , α_i, a_i, d_i sunt ct, în timp ce θ_i este var. artic. de rot i. (pt. că artic. de rot are un sq. g-l)

B) Artic. de trans - segm $(i-1, i)$ conectate printr-o artic. de trans.
- Var. este $d_i \Rightarrow \alpha_i, a_i, \theta_i$ sunt ct.

$$\Rightarrow A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} c\theta_i & -c\alpha_i s\theta_i & s\alpha_i s\theta_i & 0 \\ s\theta_i & c\alpha_i c\theta_i & -s\alpha_i c\theta_i & 0 \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = T_{z,d} \cdot T_{z,\theta} \cdot T_{z,\alpha}$$

$a_i = 0$ pt. segm. conser. conectate printr-o artic. prismatică

Ec. Cinematice

$$T_i^0 = \prod_{j=1}^i A_j^{j-1} = \begin{bmatrix} x_i & y_i & z_i & p_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_i^0 & p_i^0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, i=1:n$$

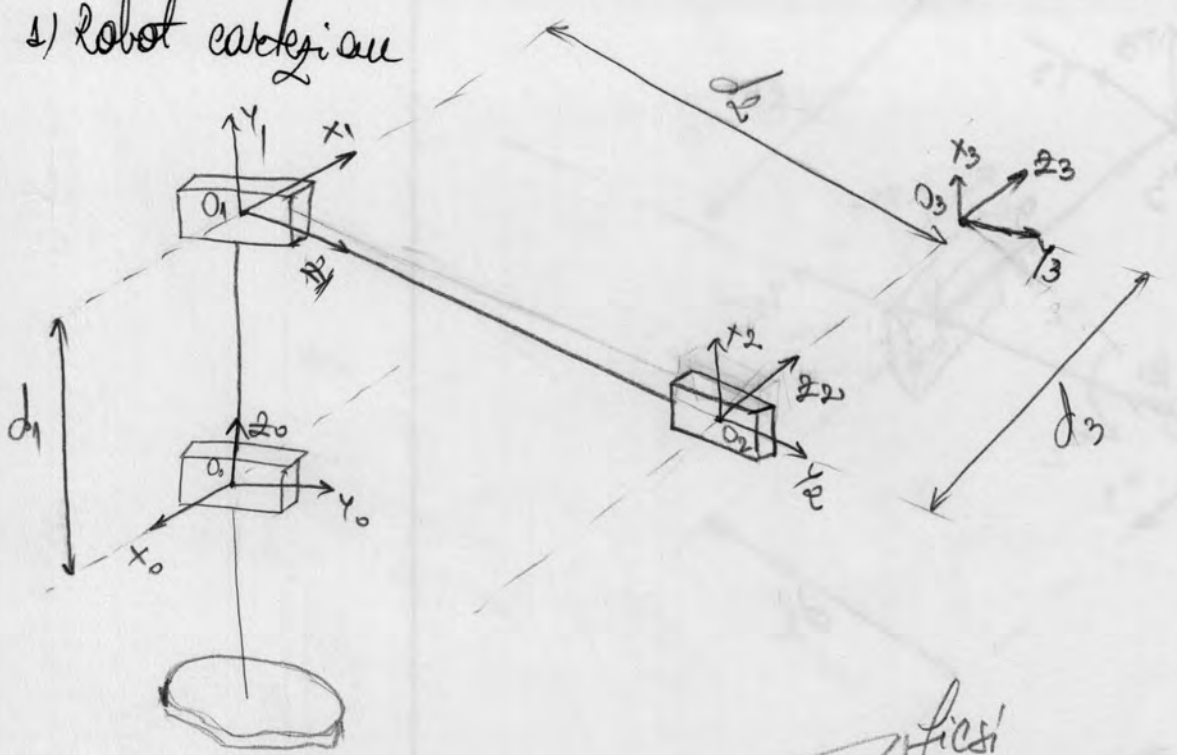
$$T_i^0(q) = A_1^0(q_1) \cdot A_2^1(q_2) \cdot \dots \cdot A_i^{i-1}(q_i)$$

$[x_i \ y_i \ z_i]$ = matricea de orientare a SCi atăsat seg Sb.
 p_i - vect. de poz.

- Când treb. calc. param. D-H treb. să facem tabelul

Joint / type	link	θ_i	α_i	a_i	d_i

1) Robot cartezian

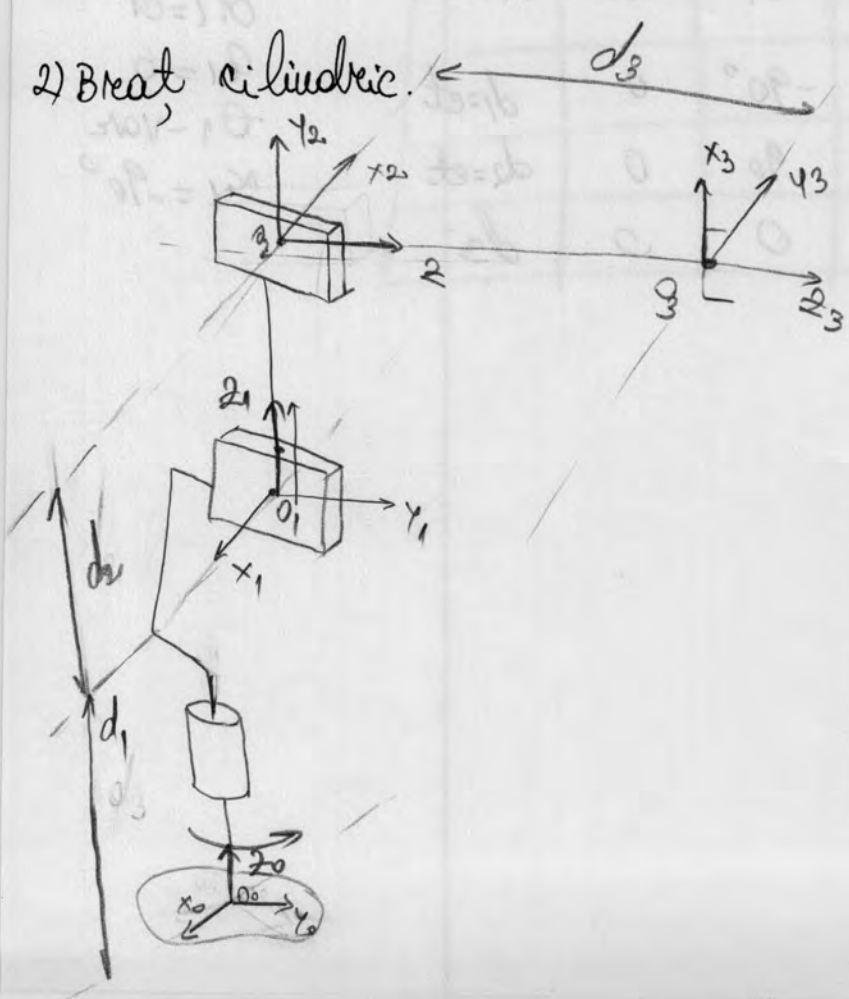


Joint Type	link	θ_i	α_i	a_i	d_i
1/ prismatic	1	180°	90°	0	d_1
2/ prismatic	2	90°	90°	0	d_2
3/ prismatic	3	0	0	0	d_3

ficsi

grad. de libertate

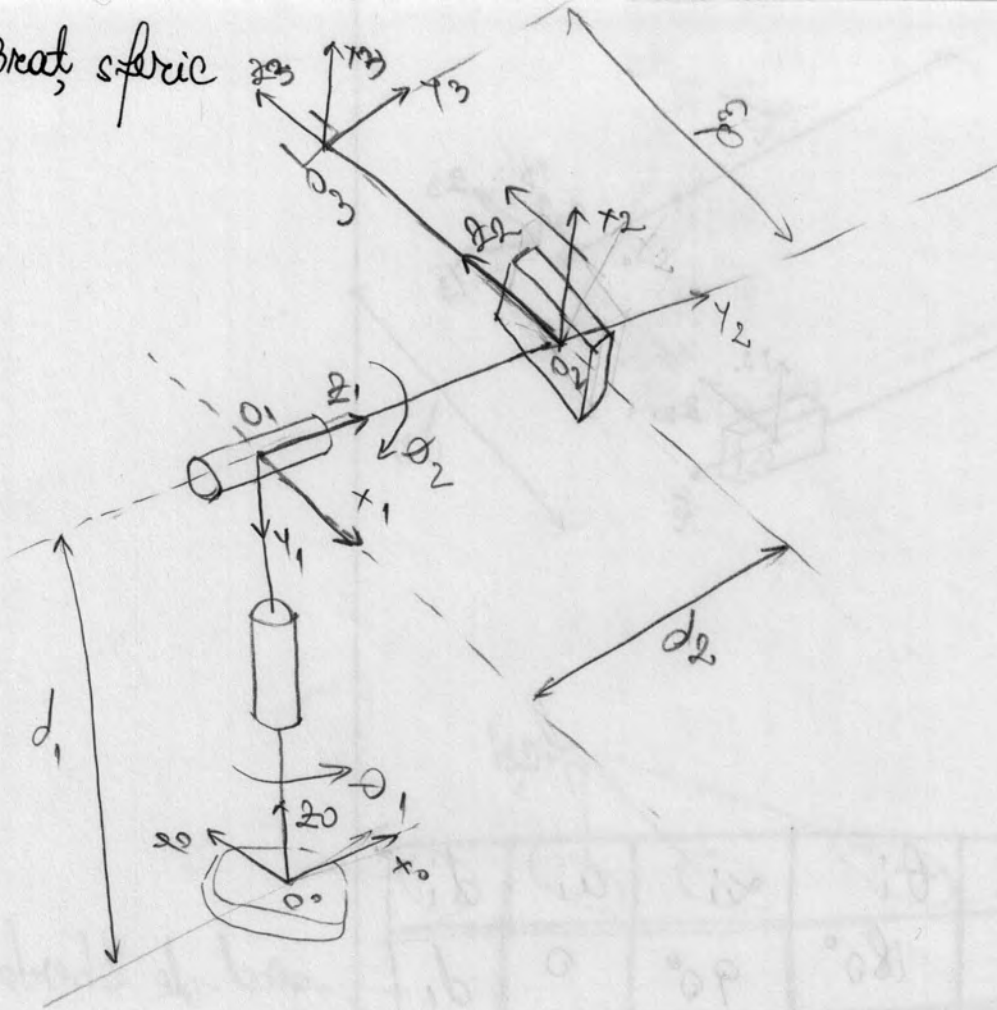
2) Braț cilindric



Joint Type	link	θ_i	α_i	a_i	d_i
1/ rotatie	1	θ_1	0	0	d_1 fix
2/ prismatic	2	90°	90°	0	d_2
3/ prismatic	3	0	0	0	d_3

ca se translatează

3) Brat, sferic



Joint / type	link	θ_i	α_i	a_i	d_i
	1	θ_1	-90°	0	$d_1 = \text{et}$
	2	θ_2	90°	0	$d_2 = \text{et}$
	3	-90°	0	0	d_3

$d_1 = \text{et}$
 $a_1 = 0$
 $\theta_1 - \text{var}$
 $\alpha_1 = -90^\circ$

PROGRAMAREA ROBOTILOR INDUSTRIALI

CURS 4

- Definitie : Scopul Cinematicii Directe (DK) este de a determina pozitia si orientarea efectorului terminal ca o functie de variabilele articulatiilor.
- Pozitia si orientarea unui corp rigid (efectorul terminal) relativ la sistemul de coordonate de referinta $O_0-x_0y_0z_0$ sunt descrise ca:
 - pozitia vectorului de origine, si
 - vectori unitari ai cadrului (sistemului de coordonate) atasat corpului, relativ la cadrul de referinta.
- Functia DK relativa la cadrul de referinta $O_0-x_0y_0z_0$ este exprimata prin HTM:

$$T^0(q) = \begin{bmatrix} n^0(q) & s^0(q) & a^0(q) & p^0(q) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

cu:

- n, s, a - versorii cadrului atasat gripperului
- p - vectorul de pozitie al originii O_0 al cadrului atasat gripperului relativ la originea $O_0-x_0y_0z_0$.

- d_i : pozitia relativa a 2 segmente conectate (segmentele $i-1$ si i), adica distanta dintre normale masurata de-a lungul axei articulatiei i ;
- θ_i : unghiul articulatiei intre normale, masurat intr-un plan normal la axa articulatiei i .
 $\theta_i = \text{normala}_{i-1}, \text{normala}_i$
- a_i : distanta minima intre axele articulatiilor i si $i+1$, masurata de-a lungul normalei comune intre axele z_i si z_{i+1} .
- α_i : unghiul intre axele articulatiilor i si $i+1$, masurat intr-un plan perpendicular pe a_i .
 $\alpha_i = z_{i-1}, z_i$

4. Cinematica Directa

4.1. Sistemul de coordonate al segmentului si parametrii sai

Fie un manipulator avand $(n+1)$ segmente interconectate prin n articulatii (vezi Fig. 1) :

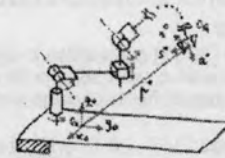


Fig. 1 Descrierea pozitiei si orientarii sistemului de coordonate al efectorului terminal

- Axa articulatiei (pentru articulatia i) este stabilita la conexiunea a 2 segmente (vezi Fig. 2). Axa articulatiei va avea 2 normale atasate, cate una pentru fiecare segment.

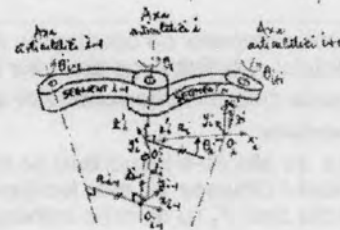


Fig. 2 Sistem de coordonate atasat segmentului si parametrii sai

Interpretare:

- d_i si θ_i : parametrii articulatiei, sunt distanta si unghiul intre segmente adiacente (determina pozitia relativa a 2 segmente consecutive).
- a_i si α_i : parametrii segmentului, sunt lungimea si unghiul de rasucire ai segmentului i (determina structura segmentului i).

Observatie:

- 2 axe de articulatie sunt stabilite la ambele capete ale unui segment.
- Semnificatia cinematica a segmentelor rigide este aceea ca ele mentin o configuratie fixa intre articulatiile lor.

4.2. Reprezentarea Denavit-Hartenberg

A) Principii de baza:

- **P1.** Metoda D-H (1955) reprezinta o metoda matriciala de stabilire sistemica a unui sistem de coordonate (cadru atasat corpului) atasat fiecarui segment al unui lant articulata.
- **P2.** Reprezentarea D-H $\rightarrow$ o HTM_{4x4} descriind fiecare sistem de coordonate/segment in articulatie in raport cu sistemul de coordonate atasat segmentului anterior (mai aproape de baza).
- **P3.** Prin compunere (multiplicare matriceala), cadrul efectorului exprimat in "coordonate gripper" poate fi transformat si exprimat in coordonate baza.
- **P4.** Un sistem de coordonate Cartezian ortonormal (x_i, y_i, z_i) se poate stabili pentru fiecare segment la axa articulatiei sale, unde $i = 1, \dots, n, n = nr. g.d.l.$, plus sistemul sistemul de coordonate al bazei (x_0, y_0, z_0) .

- **P5.** Deoarece o articulatie de rotatie are un singur g.d.l., fiecare sistem de coordonate (x_i, y_i, z_i) al bratului robotului corespunde articulatiei $(i+1)$, si este fixat in segmentul i .
- **P6.** Sistemul de coordonate nr. i (x_i, y_i, z_i) este fixat in segmentul i , si se misca odata cu segmentul $i \Rightarrow$ Sistemul de coordonate n se misca odata cu mana (segmentul n).
- **P7.** Sistemul de coordonate al bazei este definit ca sistemul de coordonate nr. 0 (x_0, y_0, z_0) .
- **P8.** Pentru un robot cu n axe, sunt $(n+1)$ sisteme de coordonate: $(x_0, y_0, z_0), \dots, (x_i, y_i, z_i), \dots, (x_n, y_n, z_n)$.

B) Stabilirea sistemelor de coordonate ale segmentelor si definirea parametrilor lor

Reguli pentru determinarea sistemelor de coordonate ale segmentelor:

- **R1.** Axa se afla de-a lungul axei de miscare a articulatiei i . Originea O_i este localizata la intersectia axei z_i cu normala comuna la axele z_{i-1} si z_i .
- **R2.** Axa x_i este normala la axa z_i , si cu sensul de la ea in afara (x_i se alege de-a lungul normalei comune la axele z_{i-1}, z_i , cu sensul de la articulatia i la articulatia $i+1$).
- **R3.** Axa completeaza sistemul ortonormal de mana dreapta.

Observatii:

- **O1.** Aplicand regulile R1-R3, exista libertatea de a alege locatia sistemului de coordonate $O_0 - x_0, y_0, z_0$ oriunde in baza suport, singura conditie fiind ca axa z_0 sa fie aliniata cu axa de miscare a primei articulatii.
- **O2.** Ultimul sistem de coordonate $O_n - x_n, y_n, z_n$, poate fi plasat oriunde in mana, singura conditie fiind ca axa x_n sa fie normala la axa z_{n-1} .
- **O3.** Daca 2 axe de articulatii consecutive sunt paralele ($z_{i-1} \parallel z_i$), normala comuna a lor nu este unic definita.
- **O4.** Daca 2 axe z_{i-1}, z_i sunt concurente, sensul lui x_i este arbitrar.

In toate aceste cazuri, nedeterminarea poate fi exploatarea, pentru a simplifica procedura de alocare a axelor; de exemplu, axele unor sisteme de coordonate pot fi facute paralele.

θ, d, α, a : parametri geometrici asociati fiecarei legaturi (segment); descriu complet orice articulatie de rotatie sau prismatica.

- Definitia θ_i : unghiul articulatiei de la axa x_{i-1} la x_i masurata in jurul lui z_{i-1} (utilizand regula mainii drepte - pozitia cand rotatia este CCW).
- Definitie d_i : distanta de la O_{i-1} la intersectia axei z_{i-1} cu axa x_i , masurata de-a lungul axei z_{i-1} .
- Definitie a_i : distanta de offset de la intersectia axei z_{i-1} cu x_i la originea O_i a celui de al i -lea sistem de coordonate, masurata de-a lungul axei x_i (sau distanta cea mai mica dintre axele z_{i-1} cu z_i , sau distanta (O_i, O_{i-1})).
- Definitie α_i : unghiul de offset de la axa z_{i-1} la z_i , masurat in jurul axei x_i (utilizand regula mainii drepte).

4.3. Algoritm pentru asignarea sistemelor de coordonate/segmente si calcul de parametri

- Pas 1: Se stabileste sistemul ortonormal de coordonate, de mana dreapta (x_0, y_0, z_0) la baza suport, cu z_0 de-a lungul axei de miscare a articulatiei 1 si indicand catre umarul robotului. Axele x_0 si y_0 pot fi stabilite convenabil, si sunt normale la $z_0: (x_0 \perp z_0, y_0 \perp z_0)$.
- Pas 2: Initializare bucla.
Pentru fiecare $i, i = 1, 2, \dots, n$, executa pasii 3-6.
- Pas 3: Stabilirea axei articulatiei cu axa de miscare (de rotatie sau de translatie) a articulatiei $(i+1)$.
- Pas 4: Stabilirea originii $SC(O_i)$:
Localizarea O_i la intersectia z_{i-1} cu z_i , sau la intersectia (normala comuna a z_i, z_{i-1} si axa z_i).
- Pas 5: Stabilirea axei x_i .
Stabilirea $x_i = \pm \frac{(z_{i-1} \times z_i)}{\|z_{i-1} \times z_i\|}$, sau de-a lungul normalei comune la z_{i-1} , z_i atunci cand $z_{i-1} \parallel z_i$.

Ecuatia cinematica pentru roboti

- T_i^0 - matricea omogena ce specifica locatia SC_i fata de SC_{baza} ; este produsul transformarilor de coordonate successive de tip A_i^{i-1} , fiind:

$$T_i^0(q) = A_1^0(q_1) \cdot A_2^1(q_2) \cdot \dots \cdot A_i^{i-1}(q_i) = \prod_{j=1}^i A_j^{j-1} = \begin{bmatrix} x_i & y_i & z_i & p_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_i^0 & p_i^0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

pentru $i=1,2,\dots,n$, unde:

- $[x_i \ y_i \ z_i]$ = matricea de orientare a SC_i atasat segmentului i , relativa la SC_{baza} .
- p_i = vectorul de pozitie de la originea $SC_{baza}(SC_0)$ la originea SC_i .

Pentru $i = n = 6$ se obtine matricea T (matricea bratului), $T = A_{6,0}^0$, care specifica pozitia si orientarea punctului terminal al manipulatorului relativ la SC_{baza} :

$$T = A_6^0 = \begin{bmatrix} x_6 & y_6 & z_6 & p_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_6^0 & p_6^0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & s & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

cu:

- n - vectorul normal;
- s - vectorul de alunecare (sliding);
- a - vectorul de apropiere a gripperului.

Aspecte de calcul a DK

Odata obtinute toate matricile de transformari de coordonate A_i^{i-1} pentru bratul robotului, metoda de calcul a lui T poate fi de tipul:

- Multiplicare manuala a celor 6, A_i^{i-1} si evaluarea elementelor matricei T explicit prin program/calculator.

Dezavantaj:

- 1) multiplicarea manuala laborioasa si
- 2) programul de calcul nu e flexibil - T este aplicabila doar unui robot particular, pentru un set specific de SC.

- Se introduce A_i^{i-1} , $i=1, \dots, 6$ in calculator care executa multiplicarea.

Dezavantajul: timp de calcul mult crescut.

Avantaj: metoda este foarte flexibila, general aplicabila.

- Compromis intre a) si b):

- Inmultire manuala:
 - primele 3 matrici: $T_1 = A_1^0 A_2^1 A_3^2$
 - ultimele 3 matrici: $T_2 = A_4^3 A_5^4 A_6^5$
- Apoi se exprima de elementele lui T_1 si T_2 explicit intr-un program de calculator; programul inmulteste $T_1 \cdot T_2 = T$ (calcul rapid, flexibilitate).

4.5. Studiu de caz: Brat SCARA

- Cele 2 segmente de lungimi a_1 si a_2 opereaza in plan orizontal $[0 \ 0 \ 0 \ 1]$ cu $l = d_1$ este inaltimea pedestalului bazei.
- Un robot tip SCARA are bratul intotdeauna cu 2 articulatii de rotatie ce misca bratele 1 si 2 in plan orizontal, traslatat cu l fata de planul bazei PB, o a 3-a articulatie prismatica misca segmentul 3 de-a lungul axei Carteziene z (Fig. 3)

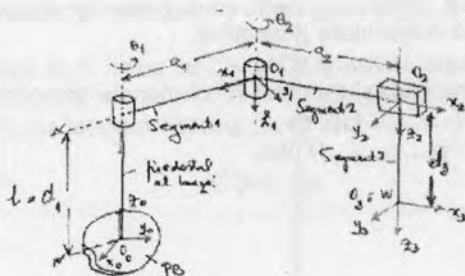


Fig. 3. Bratul SCARA

Parametrii D-H:

Segment	Tip articulatie	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	1/Rev	a_1	π	d_1	θ_1
2	2/Rev	a_2	0	0	θ_2
3	3/Prism	0	0	d_3	0

■ Din tabel rezulta:

$$A_1^0(\theta_1) = \begin{bmatrix} c_1 & s_1 & 0 & a_1 c_1 \\ s_1 & -c_1 & 0 & a_1 s_1 \\ 0 & 0 & -1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_2^1(\theta_2) = \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & a_2 c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & a_2 s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_3^2(d_3) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

■ Rezulta:

$$T_i^0(q) = A_1^0 A_2^1 A_3^2 = \begin{bmatrix} c_{1-2} & s_{1-2} & 0 & a_1 c_1 - a_2 c_{1-2} \\ s_{1-2} & -c_{1-2} & 0 & a_1 s_1 + a_2 s_{1-2} \\ 0 & 0 & 1 & d_1 - d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, c_{1-2} = \cos(\theta_1 - \theta_2)$$

4.6. Studiu de caz: Incheietura Sferica

- Fie structura incheieturii din Fig. 4. Variabilele articulatiilor au fost numerotate incepand cu 4 (θ_4 - yaw, θ_5 - pitch si θ_6 - roll):

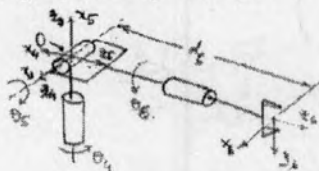


Fig. 4. Geometria bratului SCARA

Parametrii D-H:

Segment	Tip articulatie	a_i	α_i	d_i	θ_i
4	4Rot	0	$-\frac{\pi}{2}$	0	θ_4
5	5Rot	0	$\frac{\pi}{2}$	0	θ_5
6	6Rot	0	0	d_6	θ_6

- Incheietura este sferica - toate axele de rotatie z_i se intersecteaza in acelasi punct O: $O = \cap z_4, z_5, z_6$
- Odata stabilite z_4, z_5, z_6 si x_3 ales, exista o nedeterminare in directiile lui x_4 si x_5 .

■ Rezulta:

$$A_4^1(\theta_4) = \begin{bmatrix} c_4 & 0 & -s_4 & 0 \\ s_4 & 0 & c_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_5^4(\theta_5) = \begin{bmatrix} c_5 & 0 & s_5 & 0 \\ s_5 & 0 & -c_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_6^5(\theta_6) = \begin{bmatrix} c_6 & -s_6 & 0 & 0 \\ s_6 & c_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_6^1(q) = \begin{bmatrix} c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6 & -c_4 c_5 s_6 - s_4 c_6 & c_4 s_5 & c_4 s_5 d_6 \\ s_4 c_5 c_6 + c_4 s_6 & -s_4 c_5 s_6 + c_4 c_6 & s_4 s_5 & s_4 s_5 d_6 \\ -s_5 c_6 & s_5 s_6 & c_5 & c_5 d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4.7. Studiu de caz. DK pentru Robotul IRB 1400 ABB

- IRB 1400 ABB este un robot articulat vertical, cu 6 g.d.l. Mobilitatea de orientare a efectorului terminal este completa - componenta yaw fiind data de combinatia $\theta_4 - \theta_5$.
- In Fig. 5 este prezentata structura si modul de dispunere a motoarelor pentru robotul IRB 1400 ABB.
- Fig. 6 da reprezentarea geometrica, SC asociate si tabelul cu parametrii D-H.

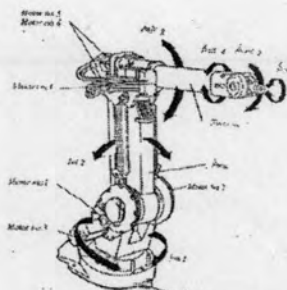


Fig. 5 Structura robotului IRB 1400 ABB

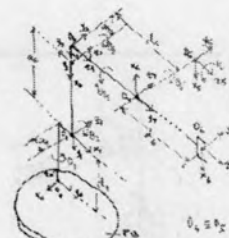


Fig. 6 Geometria robotului IRB 1400 ABB, alocarea SC,

Parametrii D-H:

Tip articulatie	a_i	α_i	d_i	θ_i	Limite articulatie
1Rot	a_1	$-\frac{\pi}{2}$	d_1	θ_1	$-170/+170^\circ$
2Rot	0	0	d_2	θ_2	$-70/+70^\circ$
3Rot	0	$\frac{\pi}{2}$	0	θ_3	$-65/+70^\circ$
4Rot	0	0	d_4	θ_4	$-150/+150^\circ$
5Rot	0	$\frac{\pi}{2}$	0	θ_5	$-115/+115^\circ$
6Rot	0	0	d_6	θ_6	$-300/+300^\circ$

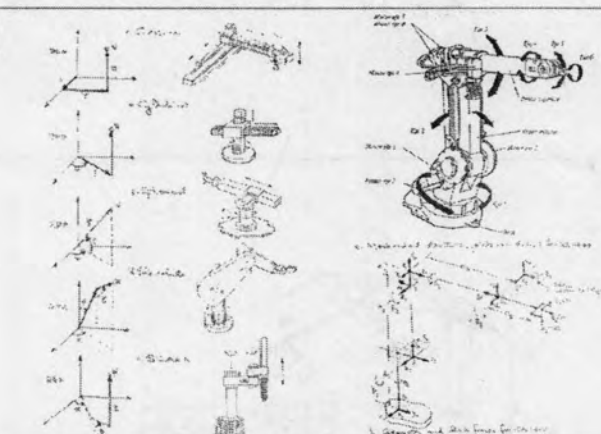
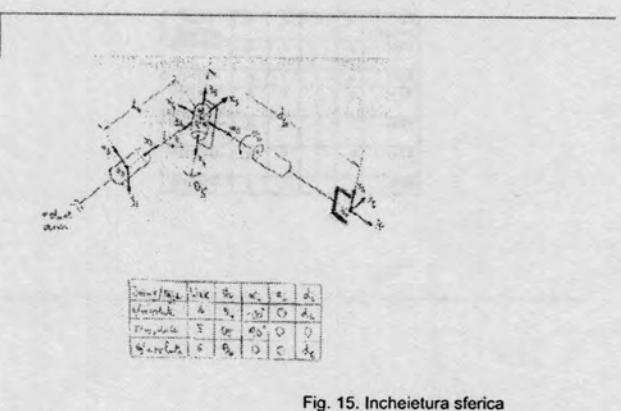
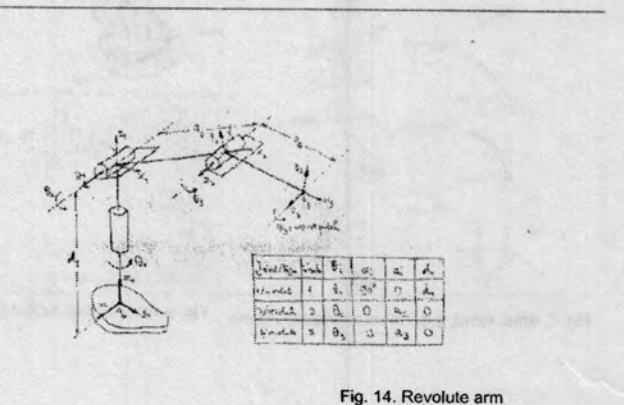
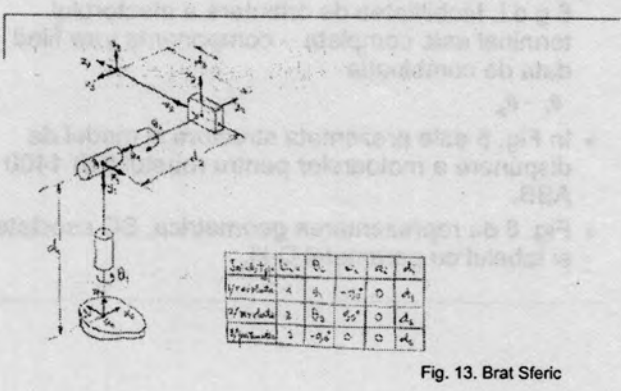
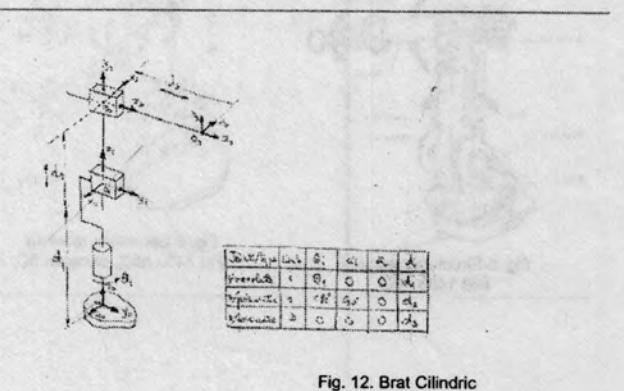
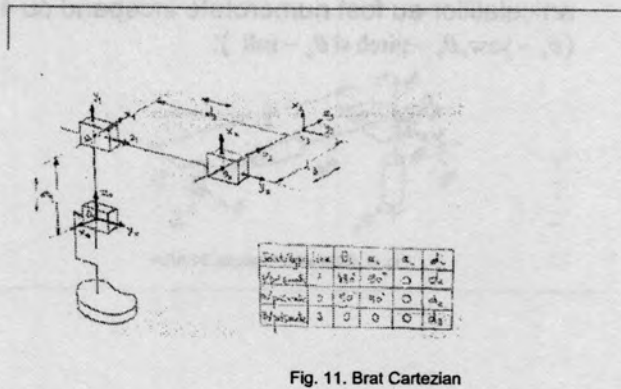
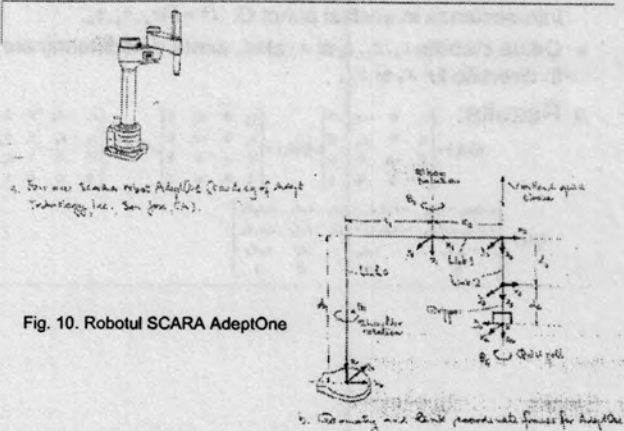


Fig. 7. Brate robot, g.d.l. si coordonatele interne Fig. 9. Robotul IRB 1400 ABB



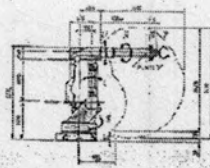


Fig.16. Robot Motoman K 605

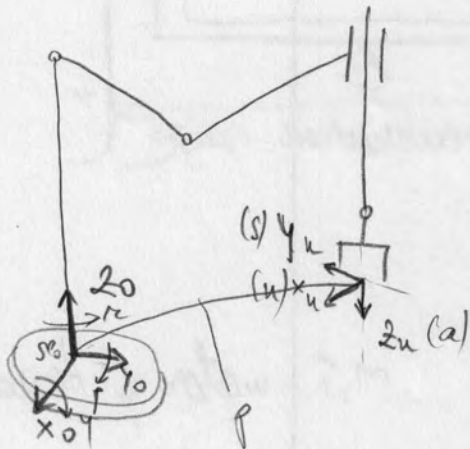
T_u^0 - HTM

$$T_u^0 = \begin{bmatrix} R_u^0 & p_u^0 \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{u}^* & \bar{s}^* & \bar{a}^* & \bar{p}^* \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$$

$*$ = det

$$\bar{u} = \begin{bmatrix} \bar{u}_x \\ \bar{u}_y \\ \bar{u}_z \end{bmatrix}; \bar{s} = \begin{bmatrix} \bar{s}_x \\ \bar{s}_y \\ \bar{s}_z \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = \text{proj}_{\bar{p}} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \text{ pe } \begin{bmatrix} 0_0 x_0, 0_0 y_0, 0_0 z_0 \end{bmatrix}$$



$z \rightarrow T_u^0$ (CS implicite)

~~ALP~~ ALSPA (Luck - Paul - Walker)

(4) asigura SCi structurii robot

SHIFT (pe BY x, y, z)

(2) $\theta_i, \alpha_i, a_i, d_i$

(3) $A_i(z_i)$ $1 \leq i \leq n$, A_i - matrice de trecere
- putem exprima o actiune in fel. de cea
anteriora

rezultat CSi

$$T_u^0 = \prod_{i=1}^n A_i(z_i)$$

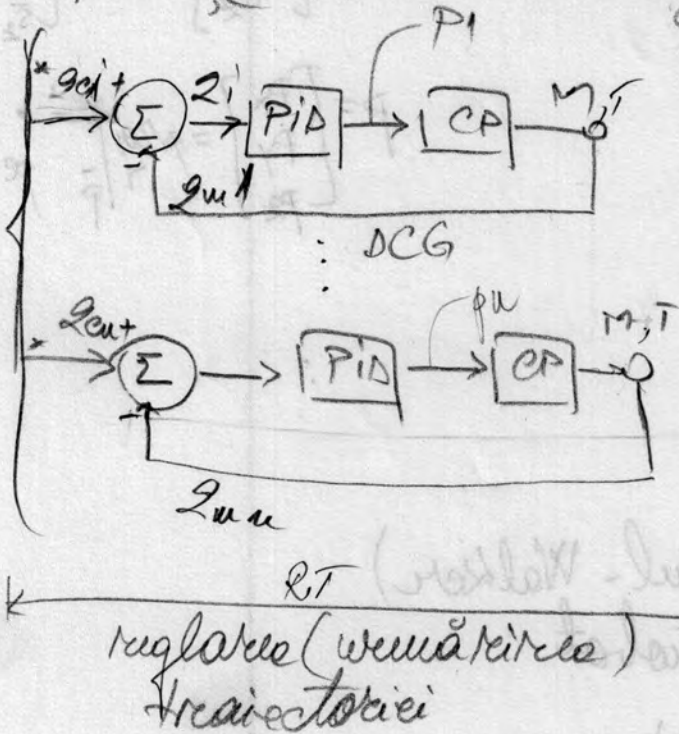
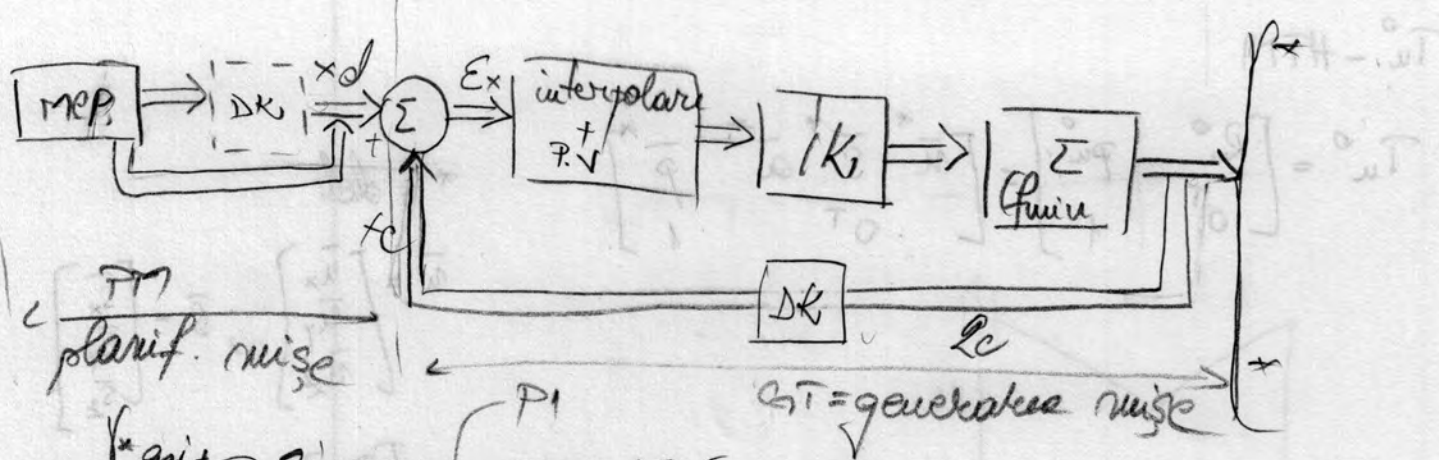
date

ALSPA
 $x = d_k(q)$, q - dat

$v^+ \rightarrow$ transformari relative

TRANS(x, y, z; R_x, R_y, R_z)

↓
yaw
pitch
roll



M, T - motor & traduc.

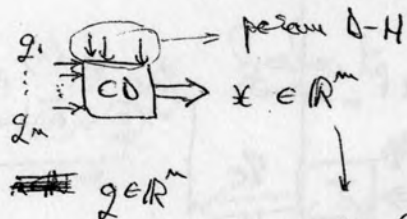
x_c - x_{calc} .

x_d - x_{dorit} .

CP - comandă de putere
DCG - disp. de comanda
pe grile
P.V. - profil de vit.

Cursul 6

• Data kinematică: Cinematică Directă (CD)



$$g = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_n \end{bmatrix}$$

← vectorul artic.

↳ dat de traductor

ap. Cartezian $\Rightarrow$
 $\Rightarrow m=6$

param D-H: $\theta_i, \alpha_i, a_i, d_i \rightarrow$ unul q_i e variabil

$i \in \overline{1, n}$ $n = \text{nr. gr. de l.}$

$x_n, y_n, z_n \rightarrow$ ne interesează pe noi

→ pt artic de rotație: $g_i = \theta_i$

→ pt artic de translație (prismatică): $g_i = d_i$

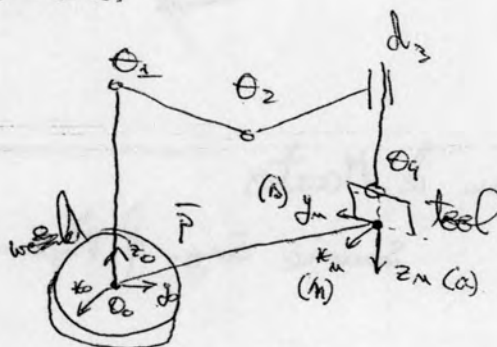
CD: $\rightarrow$ două tipuri de implementări:

① $\Rightarrow T_n^0 = \begin{bmatrix} R_n^0 & P_n^0 \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$ în funcție de care se calc. = cel calculat

HTM

$$= \begin{bmatrix} \pi & \delta & \alpha & \bar{p} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$$

sunt date



$$\bar{m} = \begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix}$$

$\delta \dots \alpha$

$$\bar{p} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = \text{proj lin } \bar{p} \text{ pe } O_0 x_0 y_0 z_0$$

② implicată

ALSPA (Kah - Paul - Walker)

1. origine și structura robotului

2. $\theta_i, \alpha_i, a_i, d_i$

const. mecan.

3. $A_i^{i-1}(g_i)$ $i \in \overline{1, n}$

↳ mat. de tran.

col

$$\Rightarrow T_n^0 = \prod_{i=1}^n A_i^{i-1}(g_i)$$

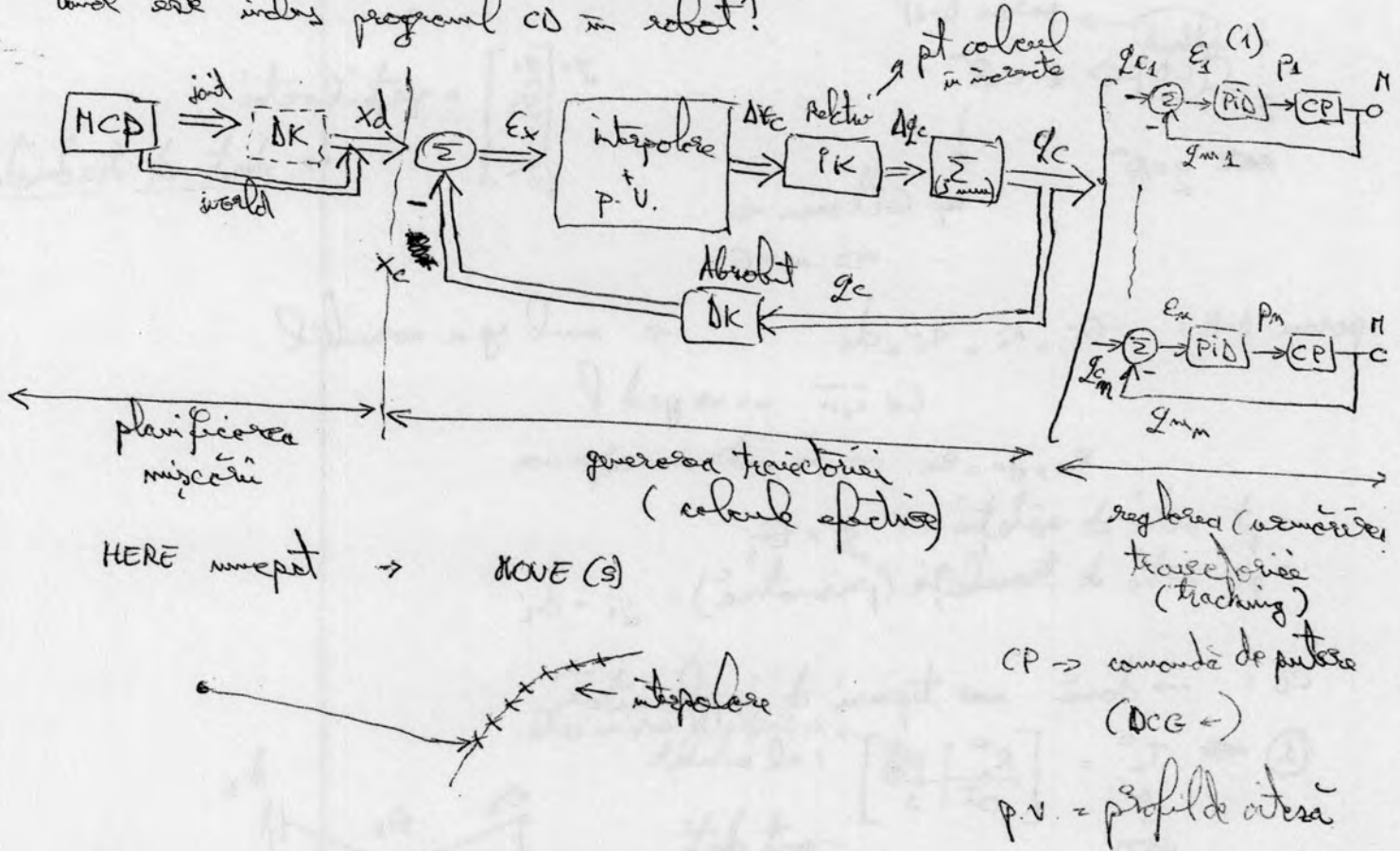
② cd explicită.

$x = dh(g) \rightarrow$ în V^+ transf. relative.

TRANS (X, Y, Z, R_X, R_Y, R_Z)

(yaw) (pitch) (roll)

unde este indus programul cd în robot?

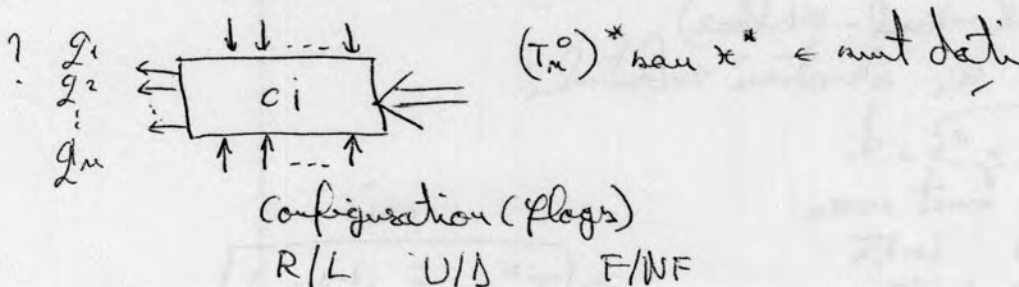


Program de Master

Service Eng. & Mgmt

Cinematică inversă

Param D-H (di sau Di)



Deci: știu x (poziția), există vîr în artie?

1. $\exists$? soluție
2. e unică?
3. metoda de calcul

Def 1: $\exists$ soluție la prob de ci dacă $x^* \in$ spațiului de destinație

Def 2: Sp de destinație = locul geom. al pct. din spațiu care pot fi atinse de robot cu $\forall$ orientare.

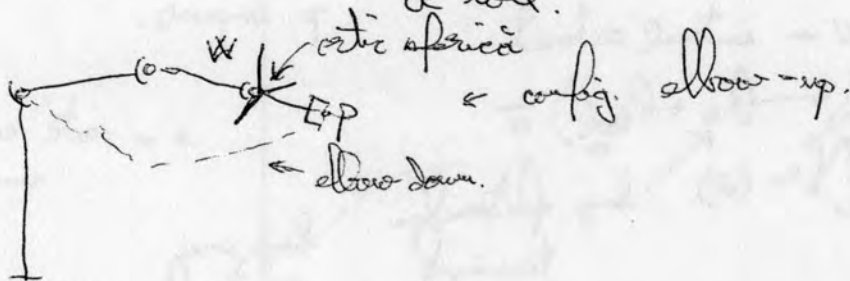
ex: la rob. antropomorfic

se ref. la petul condus.

punctele de pe frontiera spațiului de lucru (envelopa unei sfere) nu pot fi atinse decât într-o singură orientare.

orientarea la SCARA e dată de poziția de roll.

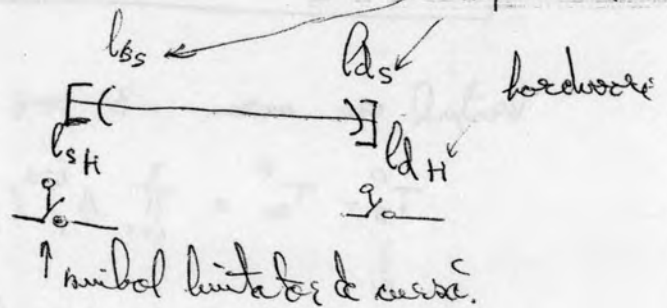
orientarea aici e dată de 3 mobilități



1. $\rightarrow$ date de config. flags
limitare de mișcare.

ex: scara $\theta_1 \in -165^\circ \dots +165^\circ$
 l_s l_d

sunt impuse de calcul
software
hardware



Dacă

robotul are 3 axe consecutive care se intersect într-un singur punct.

$\rightarrow$ ex orice robot cu artic sferică $\rightarrow$ petul de 1 se rot cu $\forall$.

3 axe consecutive || (scara, antropomorfic) etc)

$\Rightarrow \exists$ singur soluție!

Metode de calcul

① (G) Metodă geometrică

→ presupune definirea unui pct semnificativ pe structura mecanică a robotului care permite:

exprimarea locației celui pct în funcție de amplasam. dorit al robotului (x^* sau T_n^{0*})

exprimarea locației de un nr redus de variabile q_i .

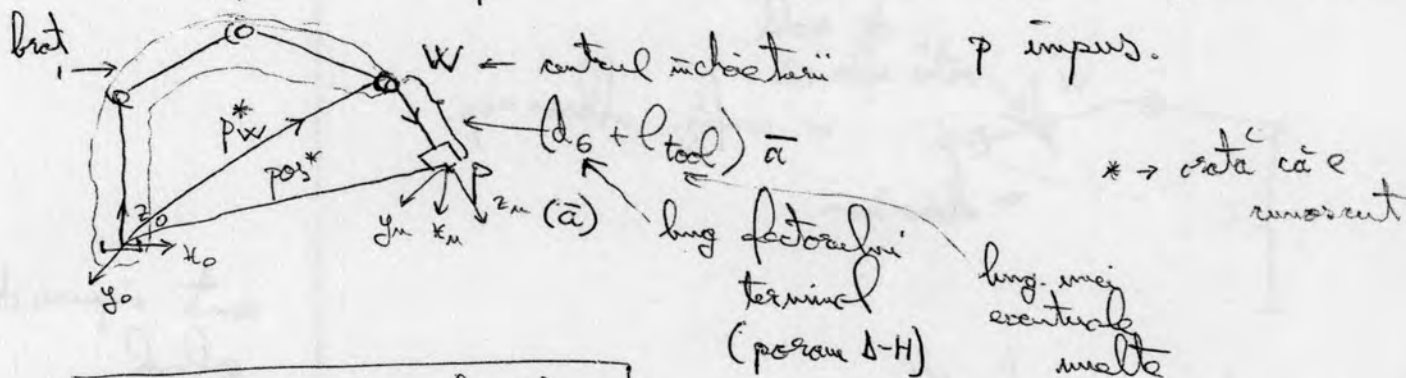
⇒ la cel mai apropiat punct ~~pct~~ este W

W este în punct care suportă brațul de factorul ed. terminal.

Etape de calcul

1. Alegerea punctului semnificativ → W

2. Exprimeră amplasamentului lui W în funcție de amplasamentul



$$p_W^* = pos^* - (d_0 + l_{tool}) \bar{a}$$

d_0 atîm pt că θ_0 e variabil.

brațul are mereu 3 var q_i !

$$T_3^0 = T_W^0 = \prod_{i=1}^3 A_i^{i-1}(q_i)$$

↓

$$\begin{bmatrix} R_W^0 & | & p_W^0 \\ \hline 0^T & | & 1 \end{bmatrix}$$

$$p_W = col_4 \text{ în } T_3^0$$

$$\Rightarrow col_4 \left| \prod_{i=1}^3 A_i^{i-1}(q_i) \right| = pos^* - (d_0 + l_{tool}) \bar{a}$$

↪ $q_1 > q_2 > q_3$

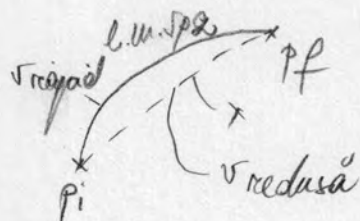
$$R_6^0 = R_3^0 \cdot R_6^3 \Rightarrow R_6^0(m) = R_3^0(q_1, q_2, q_3) \cdot R_6^3(q_4, q_5, q_6)$$

$$\Rightarrow R_6^3(q_4, q_5, q_6) = (R_3^0)^T \cdot R_6^{0*} \quad \downarrow \text{ii atîm}$$

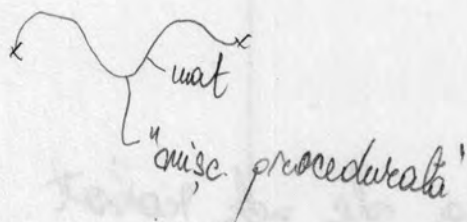
și am aflat.

Nota: întotdeauna exemplul de calcul pe robot este sferic.

I) Planificare traiectorii (drum, cale)



- sp. 2 - sp. interven.



- mișc. procedurată - et:

- calcul mat. de descriere curbă
- aproximare curbă mat. prin pt. suport
- între 2 pt. suport se face o interpolare liniară în 2

- interpolare liniară în 2 - cea mai puțin consumatoare de efort de calcul

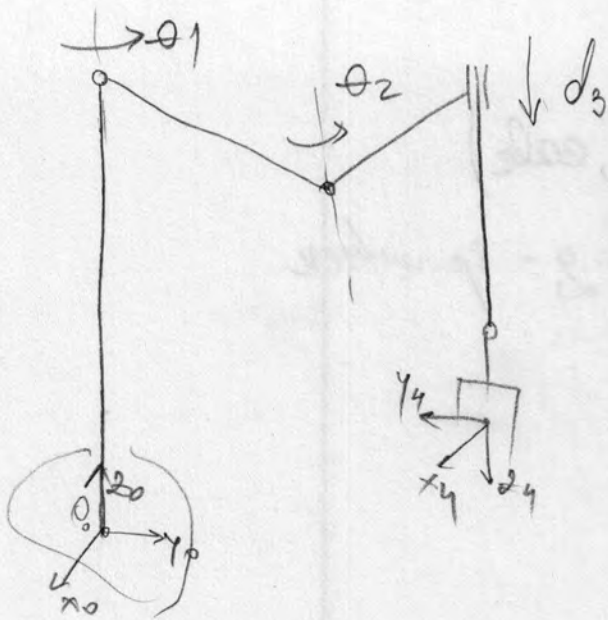
- repetată între pt. suport (i-1) și (i)

→ alg. JMRC - Joint Motion Rate Control

- princ. "axe conducătoare" = "electronic gear"

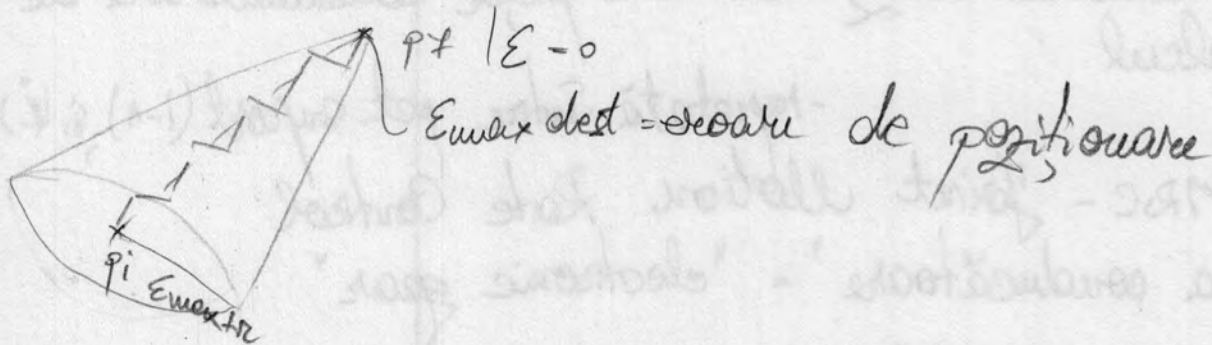
$$\begin{array}{l}
 *p_f \\
 *p_i
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l}
 q_1 : \Delta \theta_1 \\
 q_2 : \Delta \theta_2 \\
 q_3 : \Delta d_3 \\
 q_4 : \Delta \theta_4
 \end{array} \right\} \begin{array}{l}
 \max \Delta q \leftarrow \text{def axe conducătoare} \\
 \text{drumul cel mai lung}
 \end{array}$$

Re. în axa conduc. $\forall j \in [1, 4], i \neq j, v_j = v_p \cdot \frac{\Delta q_i}{\Delta q_j}$



- pl. traiec. - se face prin învătarea de pet. robot.
 HERE nume. pet.

II) Generare traiectorie GT $\rightarrow$ MRC
 Cinematică (C_0, C_i)



Dinamică - payload = 5 kg (sarc. max. transportabilă)
 GT - permite să mă țină într-un con de eroare pt. a ajunge la p_f.
 - eroare de repetabilitate
 HERE - mi da inf despre unde sunt în sp. 2.

III) (Memorarea traiectoriei (U.T))
→ reglare comandă motoare (PID)

fii competition.ro

Vedere artificială în comanda
mişcării robotului → GVR

GVR - Guiding Visually Robot

Vedere de tip 2D - 90% → în robotică

! Mediul de lucru nu este complet cunoscut (structurat)

- masă de lucru (montaj, prelucrări)
- magazii (storage) : ASRS ÷ sb. de stocare și
Automatic Storage & Retrieval System
- conveyor

natura obiectelor
poz. obiectelor
orientarea obiectelor
atingerea/suprapunerea
obiectelor

AVI - inspecție vizuală automată → det. apl. ușor de realizat,
cu timpul mai mic.

- 1) Shape recognition → recunoaștere ob.
- 2) location recognition → localizare ob.

- vederea se realizează în cadrul et. de pl. tr. ← look-
and-move

Pt. SVA $\rightarrow$ R

- ne treb. un sis. de iluminare (lighting) $\rightarrow$ pt. scena zone vizualizate
zona de acces al robotului

1 sau mai multe camere + sis. de prelucrare a
imag. $\leftarrow$ prelucrare nivel redus (low level ip) $\rightarrow$ mult a imag.
(high level ip)

- segm. imagine $\rightarrow$ "separarea" ob. de fond
- ob. (compun. imag.) - foreground $\rightarrow$ background

extensie de lb robot [extensie V^+] care să descriească
mișcarea robot, și deajă (ex: HALT)

$\rightarrow$ Adept Vision - 3 părți: CM, IP, F - fol. cu un model procesor de tip master

$\rightarrow$ { VPicture - instrucțiuni
VLocate - instrucțiuni (IP) prog

$\rightarrow$ st. robot - obiect

$\rightarrow$ Adept Sight

SVC - semnal video complex

$SVC = SU + SS$

, SU - semnal Util

SS - semnal de sincronizare

$\rightarrow CA/N \rightarrow$ imag. digitală

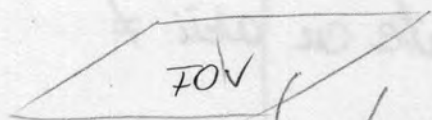
Amplasament camere:

- camerele sunt fixe (downlooking)



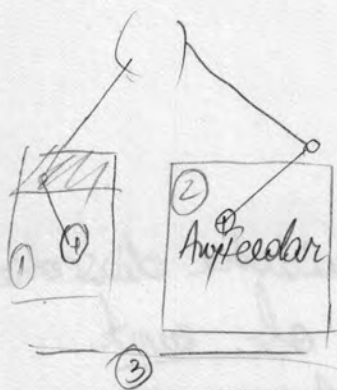
ara camera // 23

FOV - field of vision

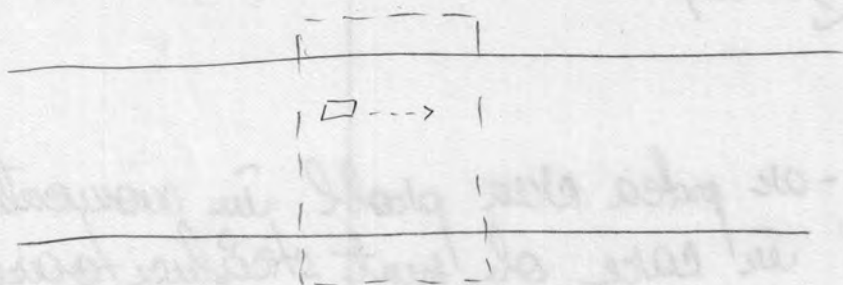


transf. de proiectie
f. de perspectivă

Obra S&S - are 3 camere
- nu are cam. mobile (e sg. care nu are)



Montaj convertor
- cam. mobile (arm-mounted, hand-held)



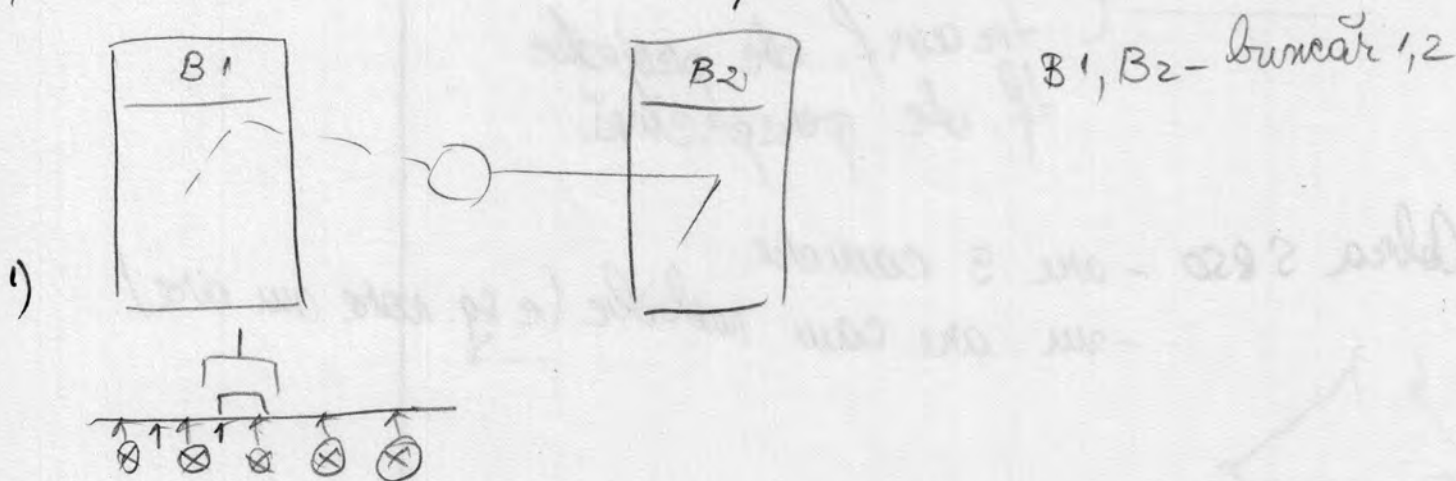
montaj convertor

- op. de a lua un ob. de pe conveyor: pick on-the-fly.
- Sis. de iluminare
- o apr. fot. bine dat. (faptu) cal. sis. de iluminare (calitat)
- eliminarea variatiilor de iluminare
 - ↳ se dat. iluminatului natural → treb. eliminat
 - se fol. iluminat artificial asupra intensitate difuză
 - ↳ cu sursă multiple

- în multe apl. & fol. LED-uri pt. ca lumina să) q. costă industrial.

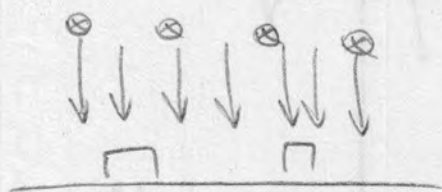


! pl. treb. iluminat complet și uniform. - în caz contrar se poate ca 2 ob. cu arii = să fie văzute cu arii $\neq$



- sursele de lumină sunt amplasate jos = iluminare diascobie
 - indiferent de mărimea de gîi sau de cel ob. sunt.
 negre pe un fond alb $\Leftarrow$ analiza de contur
 $\hookrightarrow$ dîră binarizare)

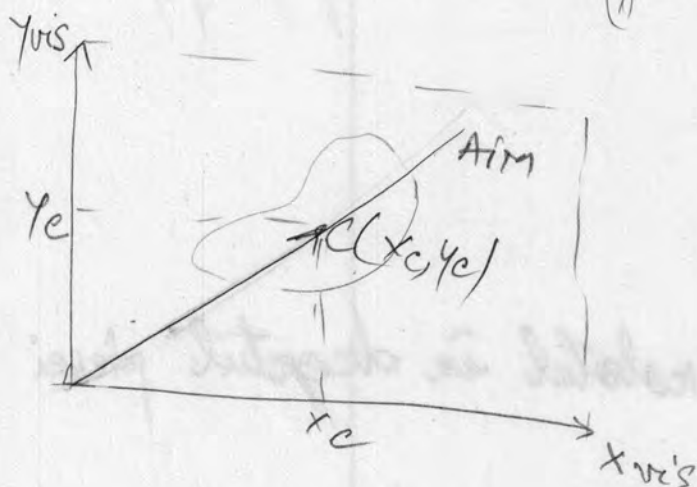
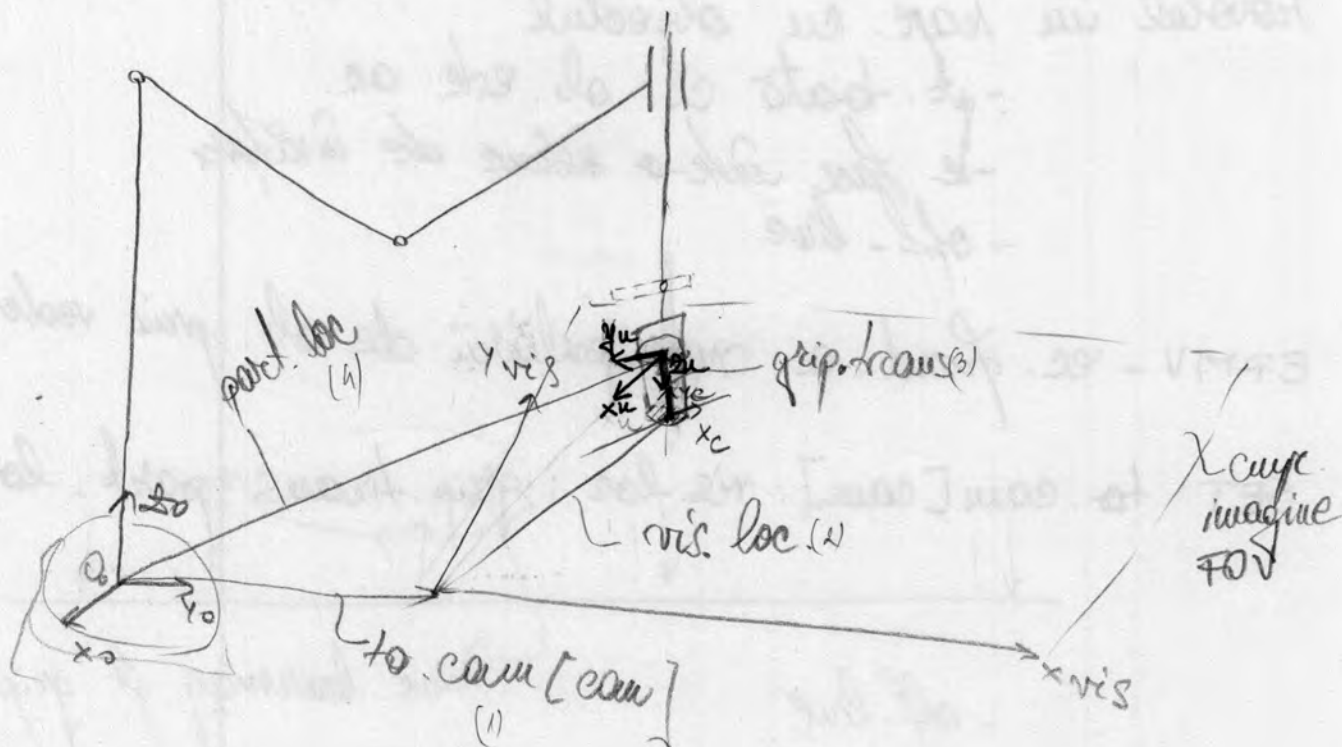
2) iluminare frontală



- ar putea crea probl. în momentul
 în care ob. sunt strălucitoare și
 poate săi cauzeze.

Formatul imaginii

Legătura vedere-miscare



Aim - axe de direcție
mână

x_c, y_c - coord. centrului de greutate

CV - cam. video

SET part. loc = to.cam[cam] : vis.loc : grip.trans (EFM) → în timp real.

- (1) to.cam[cam] - ff. camera-robot off-line
- se calc. o sq. dată, indiferent de apl. cu relativă a
 - se obt. puncte o sesune de calibrare a CV.
- (2) vis.loc - indică poz. și orientarea ob. în pl. imagine locatie
- se obt. pl. fiecare ob. ce treb. accesat de robot
 - VLOCATE