SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM

SZE - GYŐR

Robottechnika II.

1. Bevezetés, ismétlés

Ballagi Áron
Automatizálási Tanszék

Bemutatkozás

- Dr. Ballagi Áron
  - tanszékvezető-helyettes, egyetemi docens
  - Automatizálási Tsz. C701, 3461
  - Autonóm és Intelligens Robotok Laboratórium (AIR)
    - ÚT111, 3155
  - ballagi@sze.hu

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM SZE - GYŐR

Féléves menetrend

- Heti előadások az A-5 teremben
- Gyakorlatok 2 hetes bontásban – *A* és *B* csoport
  - Feliratkozás!
- Kivételek:
  - szept. 28. – csúsztatás / helyettesítés
    - okt. 21. – Audi karbantartó mérnöki előadás
  - okt. 19. – CogInfoCom konferencia látogatás
  - nov. 09. – csúsztatás / helyettesítés
- Zh – elővizsga az utolsó órán: nov. 30.

Irodalom

- Kulcsár Béla: Robottechnika, LSI Informatikai Oktatóközpont, Budapest, 1999.
- Lantos Béla: Robotok irányítása, Akadémiai Kiadó, 2002.
- Phillip John McKerrow: Introduction to Robotics, Addison-Wesley, 1991.
- Peter Corke: Robotics, Vision And Control: Fundamental Algorithms In Matlab (Springer Tracts In Advanced Robotics), Springer, 2011.

Robot kinematika

Direkt kinematika:

<u>a robotkar állapotának meghatározásához</u>

(ha az összes csukló változó ismert)

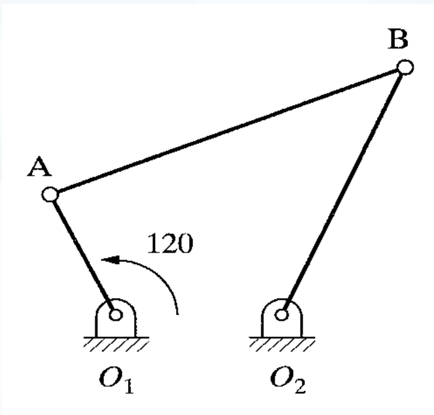
Inverz kinematika:

<u>az egyes csukló változók számításához</u>

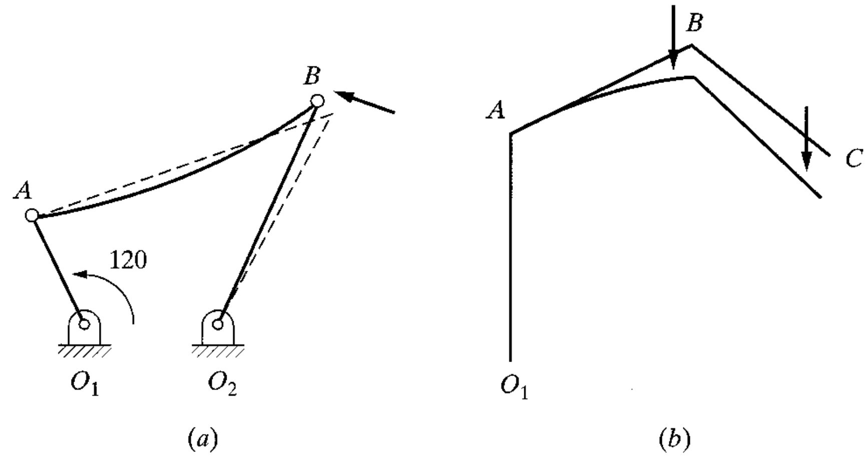
(ha a kar/TCP egy bizonyos állapota/pozíciója adott)

A robot mint mechanizmus

Robotkar: 3 dimenziós, nyílthurkú mechanikai lánc



Egy szabadságfokú zárthurkú három-tagú mechanizmus

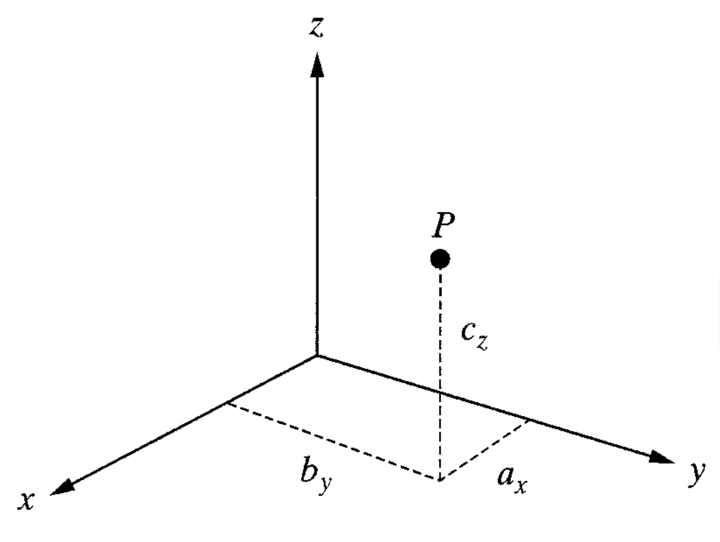


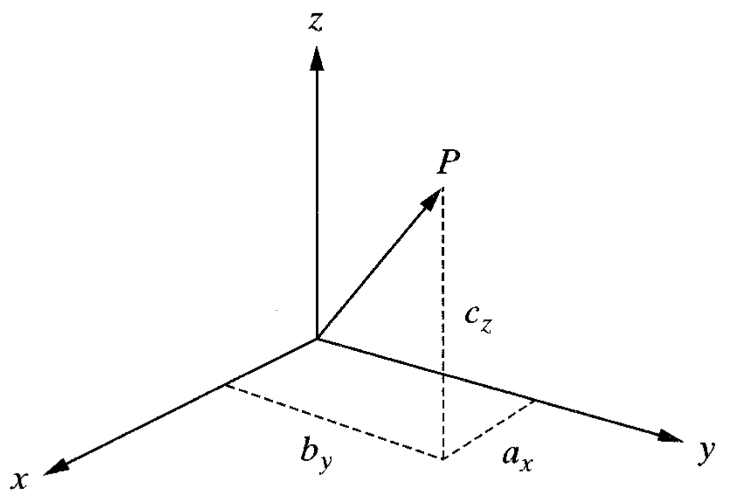
(a) zárthurkú (b) nyílthurkú mechanizmus

Pont leírása a térben

P pont leírása a térben:

3 koordinátával egy referencia koordinátarendszerben (keret – frame)



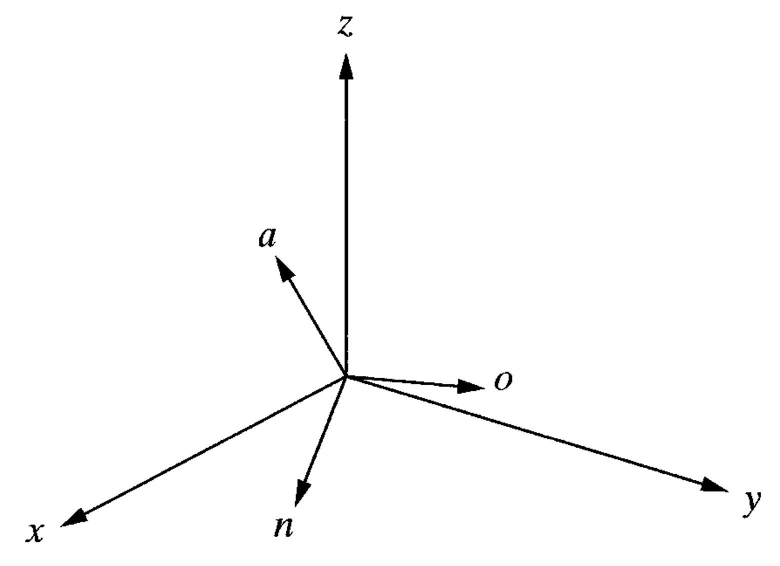


$$p = a_x \hat{i} + b_y \hat{j} + c_z \hat{k}$$

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Koordinátarendszerek leírása (Keret – Frame)

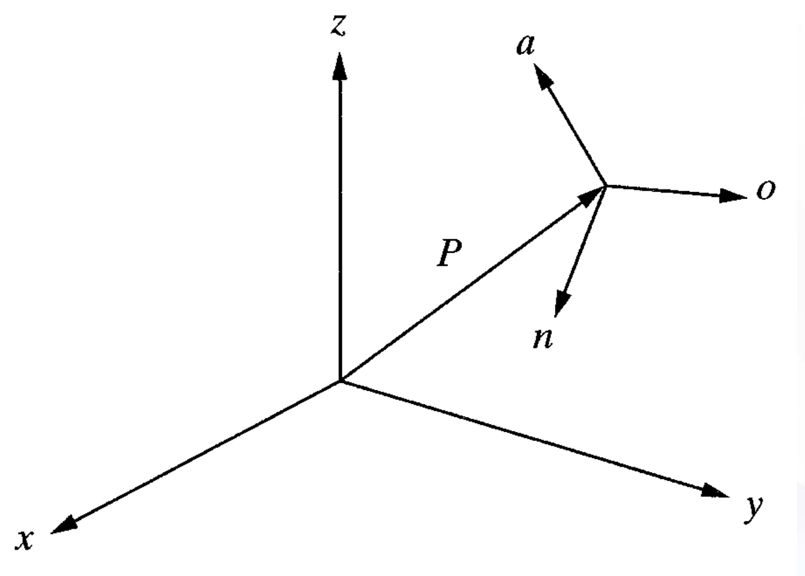
- A kereteket egy referencia keretben írjuk le
  - a referencia keret lehet rögzített vagy változó
  - derékszögű jobbsodrású koordinátarendszereket használunk
- Azonos origójú keretek leírása:



$$F = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & a_z \end{bmatrix}$$

Koordinátarendszerek leírása (Keret – Frame)

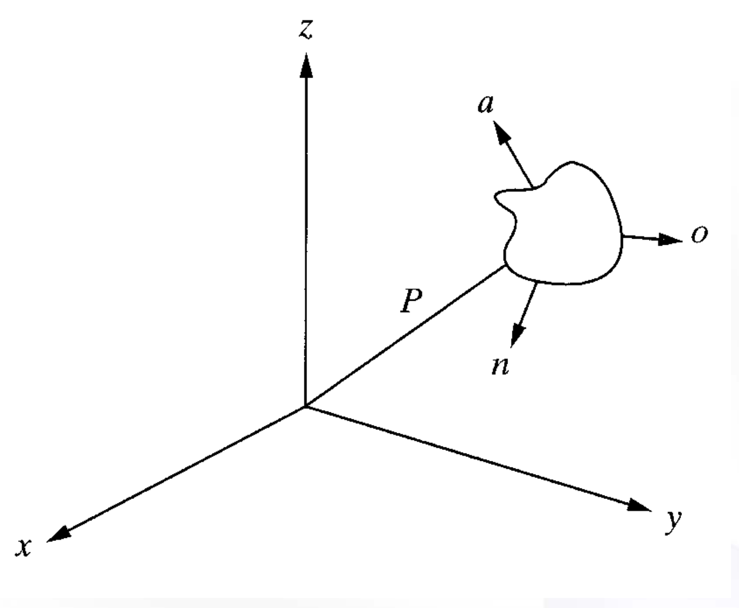
- Eltolt origójú keret leírása
  - p tolási vektor
  - homogén koordinátákkal



$$F = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Egy merev test térbeli helyzetének leírása

- Egy tárgy térbeli leírása egy hozzákötött kerettel és annak leírásával oldható meg



$$F_{object} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

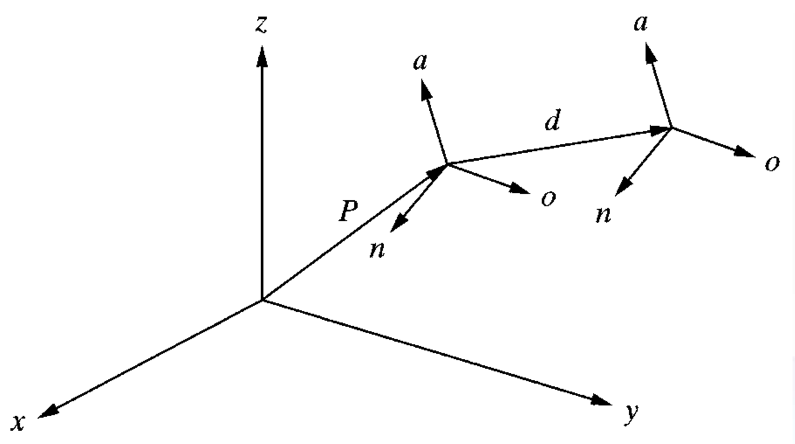
Homogén transzformációs mátrix

- A transzformációs mátrix mindig négyzetes
  - mátrix szorzásokhoz a dimenzióknak egyezniе kell
  - könnyebb inverz számítás

$$F = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Transzformációk - eltolás

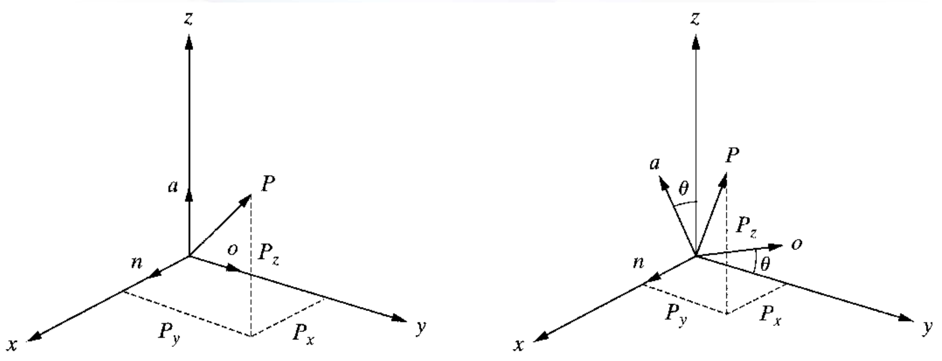
- **Transzformáció**: egy keret leírása (elmozdítása) egy másik kerethez viszonyítva
  - eltolás és forgatás
- Eltolás:



$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_x \\ 0 & 1 & 0 & d_y \\ 0 & 0 & 1 & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

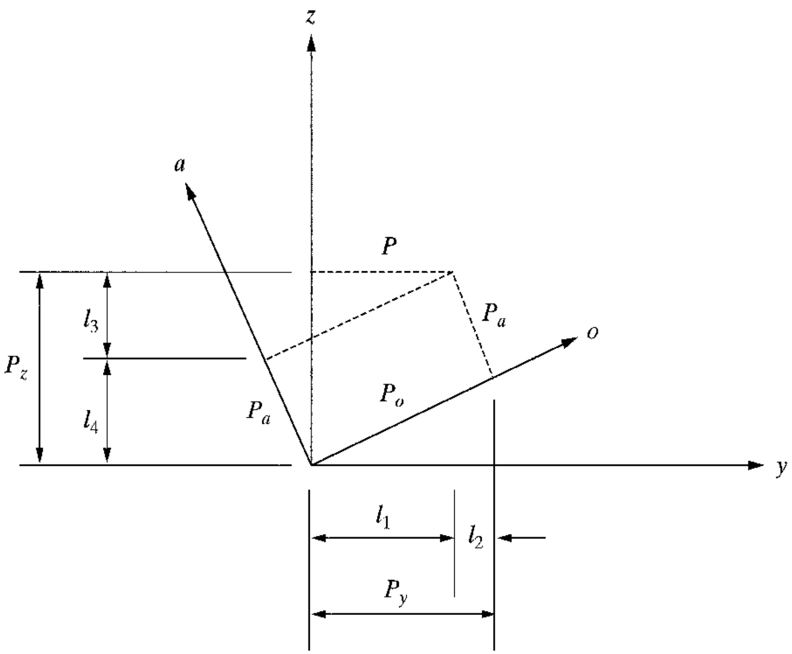
Transzformációk - forgatás

- Kezdeti feltétel: a keretek azonos origóban vannak és a tengelyek párhuzamosak
  - forgatáskor az origó helyben marad
- *p* pont *x*-tengely körüli forgatása:



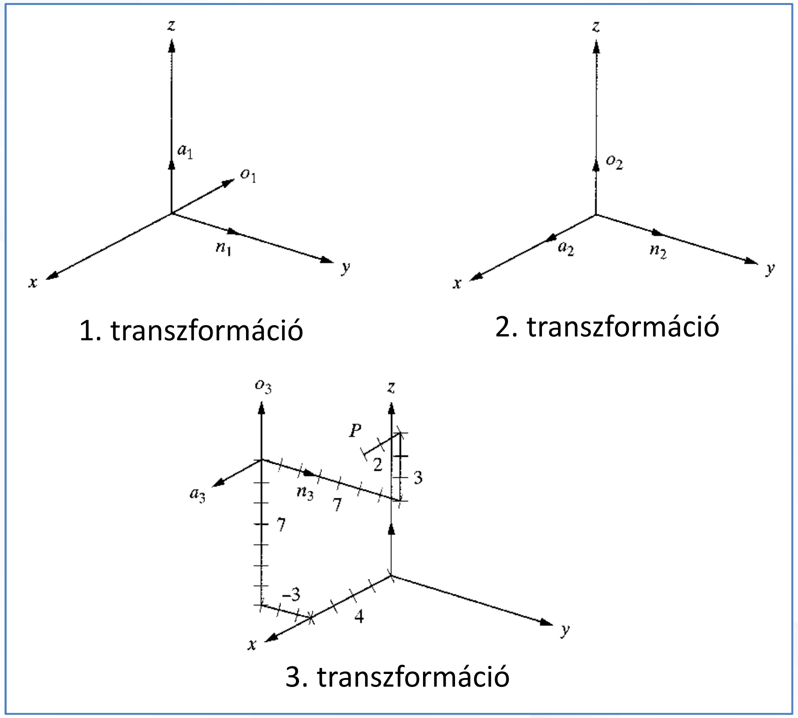
forgatás előtt (*a*)

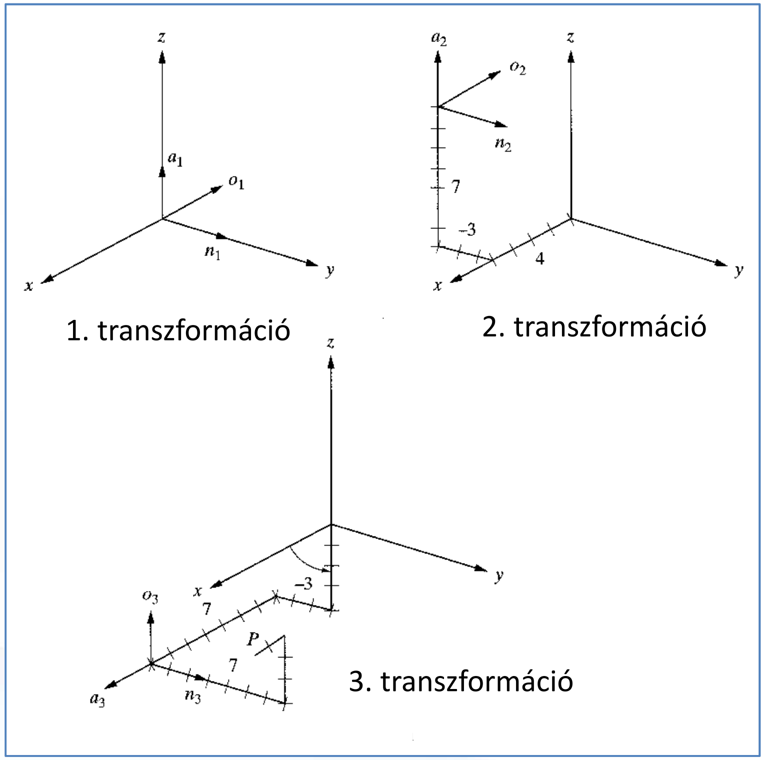
forgatás után (*b*)



Transzformáció

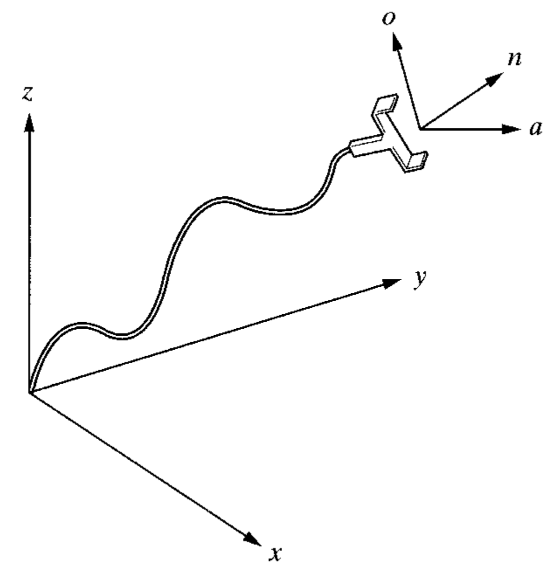
- Eltolási és forgatási lépések sorozata
  - a sorrend nem mindegy!





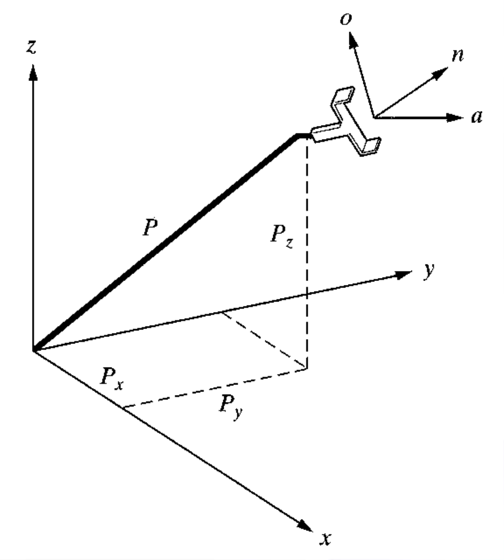
Direkt kinematika

- Direkt kinematikai analízis
  - a robotkar és a tagok pozícióját és orientációját számolja
  - ha ismert minden kényszer állapota, akkor kiszámítható a robot bármely pontjának (általában TCP) helyzete az adott pillanatban



Direkt kinematikai leírás: portál robot

- Portál robot
  - téglatest munkatér, derékszögű koordinátarendszer
  - csak transzlációs kényszer (TTT)

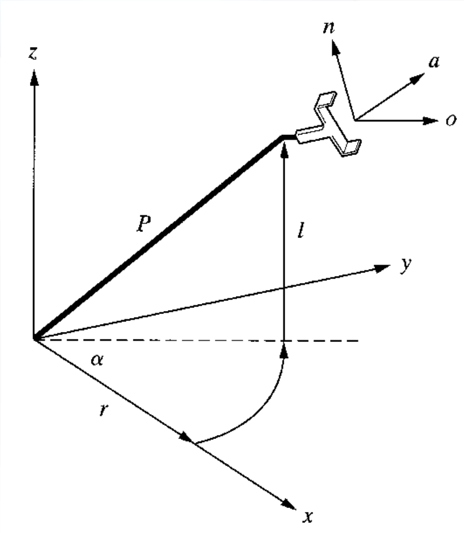


$$
{}^{R}T_{P} = T_{cart} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & P_x \\ 0 & 1 & 0 & P_y \\ 0 & 0 & 1 & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM

Direkt kinematikai leírás: hengeres munkaterű

- Hengeres munkaterű robot
  - egy rotációs és két transzlációs tengely (RTT)
    - *r* transzláció az *x-tengely* mentén
    - α forgatás a z-tengely körül
    - *l* transzláció a z-tengely mentén

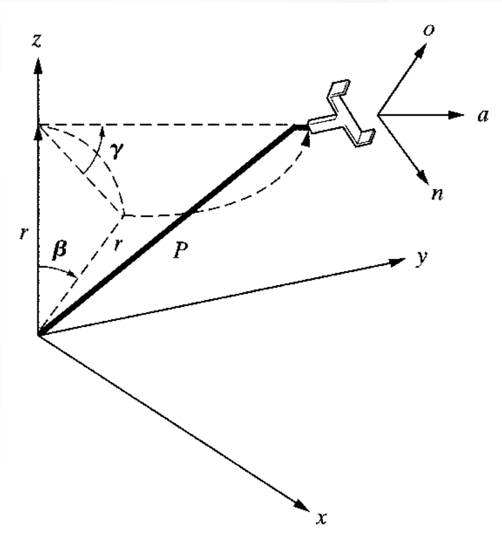


$$^{R}T_{P} = T_{cyl}(r,\alpha,l) = \mathrm{Trans}(0,0,l)\mathrm{Rot}(z,\alpha)\mathrm{Trans}(r,0,0)$$

$$^{R}T_{P} = T_{cyl} = \begin{bmatrix} C\alpha & -S\alpha & 0 & rC\alpha \\ S\alpha & C\alpha & 0 & rS\alpha \\ 0 & 0 & 1 & l \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Direkt kinematikai leírás: gömb munkaterű

- Gömb munkaterű robot
  - két rotációs és egy transzlációs tengely (RRT)
    - r transzláció az z-*tengely* mentén
    - β forgatás a y-tengely körül
    - γ forgatás a z-tengely körül

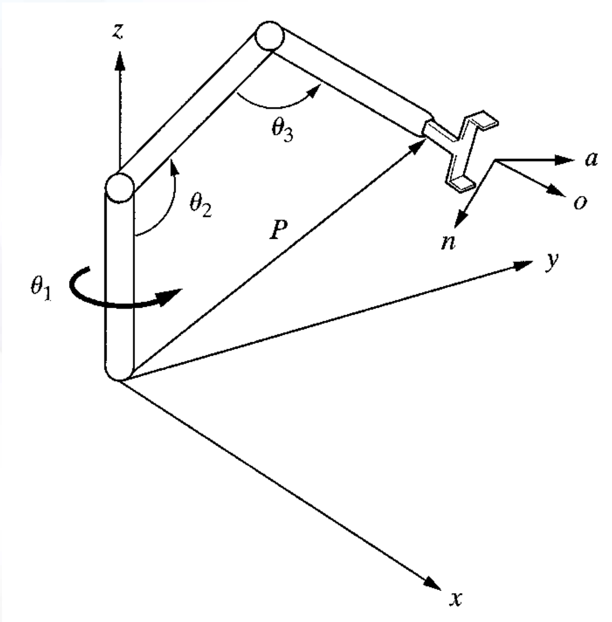


$$^{R}T_{P} = T_{sph}(r,\beta,l) = \mathrm{Rot}(z,\gamma)\mathrm{Rot}(y,\beta)\mathrm{Trans}(0,0,\gamma)$$

$$^{R}T_{P} = T_{sph} = \begin{bmatrix} C\beta\cdot C\gamma & -S\gamma & S\beta\cdot C\gamma & rS\beta\cdot C\gamma \\ C\beta\cdot S\gamma & C\gamma & S\beta\cdot S\gamma & rS\beta\cdot S\gamma \\ -S\beta & 0 & C\beta & rC\beta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Direkt kinematikai leírás: függőleges csuklókaros

- Függőleges csuklókaros robot
  - csak rotációs tengely (RRR)
    - 3 forgatás → **Denavit – Hartenberg mátrix**

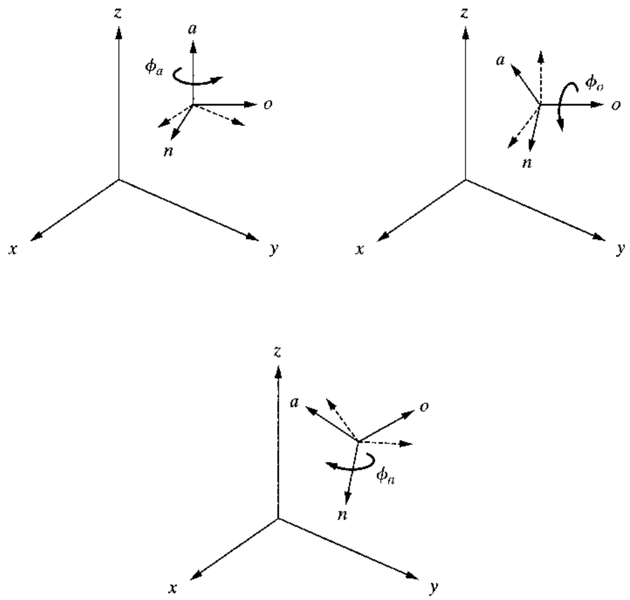


Kinematika
Orientáció leírása

- Egy tárgy orientációja többféle módon írható le:
  - Roll-Pitch-Yaw (RPY) szögek
  - Euler szögek
  - csukló szögek (Denavit – Hartenberg leírás)

Orientáció leírása
Roll – Pitch – Yaw (RPY) szögek

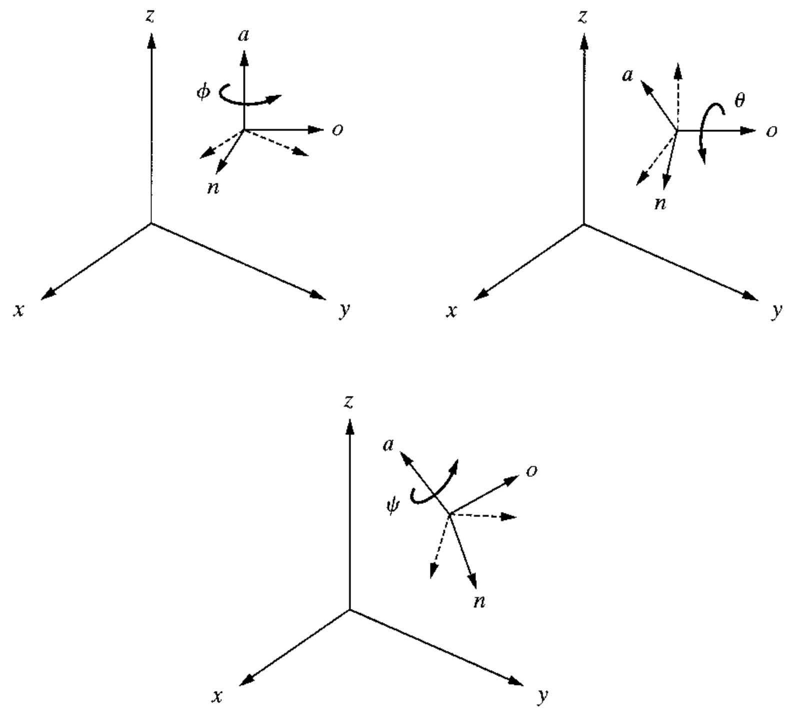
- A mozgó kerethez kötött tengelyenkénti elfordulások
  - repülőknél használt módszer
  - a tárgyhoz kötött
- RPY szögek
  - **Roll**: φ_a szöggel való elfordulás a-tengely körül (a mozgó keret z-tengelye)
  - **Pitch**: φ_o szöggel való elfordulás o-tengely körül (a mozgó keret y-tengelye)
  - **Yaw**: φ_n szöggel való elfordulás n-tengely körül (a mozgó keret x-tengelye)



Orientáció leírása
Euler szögek

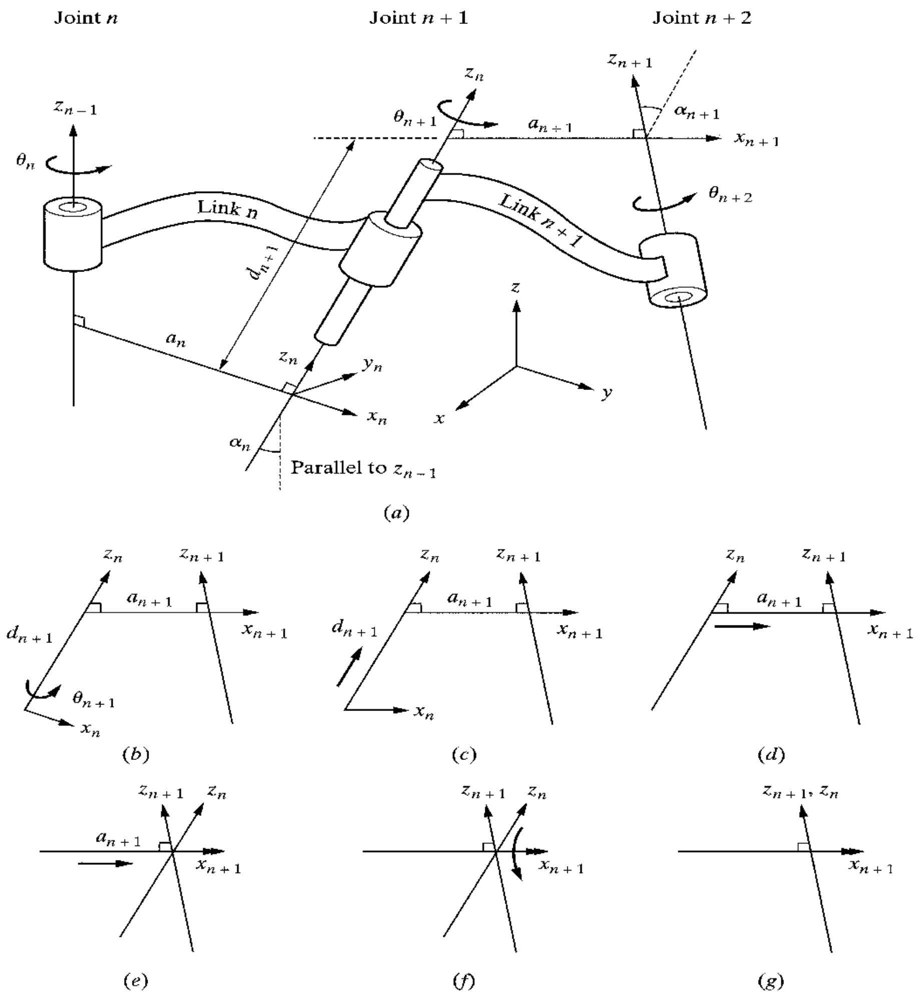
- Euler szögek
  - Z-Y-Z egymás utáni forgatás

1. ϕ szöggel való elfordulás *a*-tengely körül (a mozgó keret *z*-tengelye), majd
2. θ szöggel való elfordulás *o*-tengely körül (a mozgó keret *y*-tengelye), majd
3. ψ szöggel való elfordulás ismét az *a*-tengely körül (a mozgó keret *z*-tengelye)



Denavit – Hartenberg leírás

- DH mátrix (leírás)
  - a robot komplexitásától független egyszerű tag és csukló leírási módszer
  - minden robot konfigurációhoz használható
  - bármely koordináta transzformáció lehetséges



Denavit – Hartenberg leírás

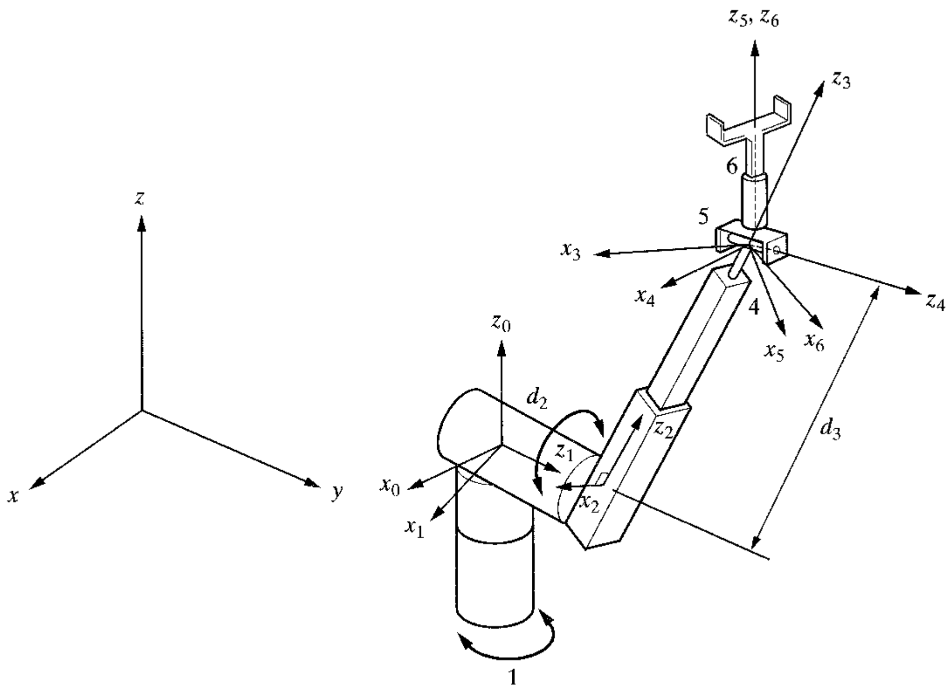
- DH leírás előkészítése
  - kijelölünk egy csuklót, ez lesz az *n*. csukló
  - az *n*. és az azt követő és megelőző szomszédos csuklókhoz is felveszünk egy-egy lokális referencia keretet
  - az *y* tengelyt nem használjuk a DH leírásban
- Lokális keretek felvétele
  - minden csukló a *z* tengellyel jellemzett (a rotáció vagy a transzláció tengelye)
  - a *z* tengelyek közti közös normális, mindkét tengelyre merőleges
    - párhuzamos tengelyek esetén végtelen sok ilyen van
    - metsző tengelyek esetén o a normális hossza (metszéspontban értelmezzük)
  - az *x* tengely a normális mentén mutat a következő csukló irányába

Denavit – Hartenberg leírás

- DH leírásban használt szimbólumok:
  - θ : z tengely körüli elfordulás
  - d : z tengely menti elmozdulás (távolság)
  - a : a közös normális hossza (csukló ofszet)
  - α : két egymást követő z tengely szöge (csukló twiszt)

- Csak a θ és a d „igazi” csukló változó!

Denavit – Hartenberg leírás
Stanford kar



#	θ	d	a	α
1	θ_1	0	0	-90
2	θ_2	d_1	0	90
3	0	d_1	0	0
4	θ_4	0	0	-90
5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	0	0	0

KÉRDÉS?

Köszönöm a figyelmet!

PUMA-560 csuklókaros robot