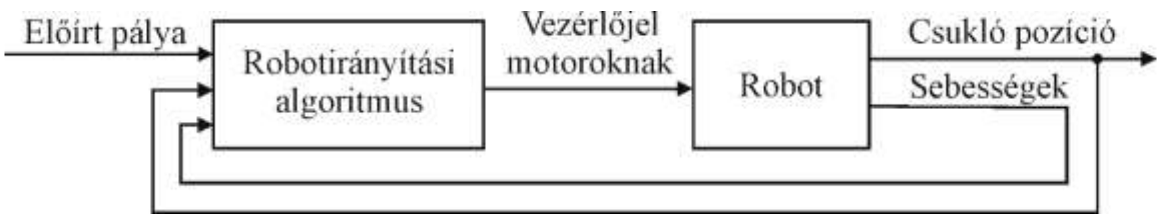
Robot pályakövetést megvalósító irányítása SimMechanics környezetben

1. A gyakorlat célja

Cilindrikus robotkar irányításának vizsgálata. A robot modellezése SimMechanics környezetben. Festési feladathoz pályatervezés, az irányítási algoritmusok hangolása.

2. Elméleti bevezető

A robotirányítási algoritmus felelős azért, hogy a robot végberendezése eljusson a célpontba, vagy egy előre definiált pályát írjon le. Ezt általában visszacsatolással oldjuk meg: mérjük a robotcsuklók sebességét és pozícióját és a mért értékek, valamint az előírt pozíció vagy pálya (pozíció, sebesség, gyorsulás időfüggvény) alapján meghatározza a csuklóbeavatkozóknak (motoroknak) a vezérlőjelet, úgy, hogy a robot eljusson a célpontba vagy végighaladjon a megadott pályán



1. Ábra: Robotirányítási rendszer

Amennyiben a robot csak PTP (ponttól pontig) mozgást kell végezzen, a robot irányítására egyszerű PID típusú irányítási algoritmust használhatunk. Pályakövetés esetében az algoritmusnak figyelembe kell vennie a robot dinamikus modelljét is, így nemlineáris irányítási algoritmust kapunk.

2.1 Robotok PTP irányítása klasszikus PID szabályozókkal

Feltételezzük, hogy ismert a célpontnak megfelelő csuklókoordináta ($\underline{q}_{ref} = konst.$)

PD szabályozó gravitációkompenzálással. A PD szabályozóalgoritmus az *i*-ik csuklóra:

$$\tau_i(t) = K_{P_i}\left(e_i(t) + T_{d_i}\frac{de_i}{dt}\right) + G_i, \quad e_i = q_{ref_i} - q_i$$

$K_{P_i} \geq 0$ – proporcionális erősítés

$T_{d_i} > 0$ – deriválási idő

Az irányított robot dinamikus modellje

$$H(\underline{q})\cdot\ddot{\underline{q}}+C(\underline{q},\dot{\underline{q}})\cdot\dot{\underline{q}}+G(\underline{q})=\underline{\tau}$$

Legyen a beavatkozó jel:

$$\underline{\tau}=\begin{pmatrix}\tau_1\\ \tau_2\\ \vdots\\ \tau_n\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}K_1 & & & 0\\ & K_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & K_n\end{pmatrix}\cdot\left(\begin{pmatrix}e_1\\ e_2\\ \vdots\\ e_n\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}T_{d1} & & & 0\\ & T_{d2} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & T_{dn}\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}\dot{e}_1\\ \dot{e}_2\\ \vdots\\ \dot{e}_n\end{pmatrix}\right)+\begin{pmatrix}G_1(\underline{q})\\ G_2(\underline{q})\\ \vdots\\ G_n(\underline{q})\end{pmatrix}$$

$$\underline{\tau}=K\cdot\left(\underline{e}+T_d\,\frac{d\underline{e}}{dt}\right)+G(\underline{q})$$

Ez a beavatkozójel biztosítja, hogy a robot eljusson a végpontba, ha $\underline{q}-\underline{q}_{ref}\rightarrow 0$ ha $t\rightarrow\infty$.

A szabályozás analízise Lyapunov módszerrel
Alkalmazzuk a *Lyapunov tételt*:
Legyen a következő dinamikus rendszer:

$$\dot{\underline{x}}=f(\underline{x}),\ \underline{x}_0 \text{ kezdőállapot, } \underline{x}=\begin{pmatrix}x_1 & x_2 & \dots & x_n\end{pmatrix}^T$$

A rendszer aszimptotikusan stabil, ha $\underline{x}(t)\rightarrow 0$ ha $t\rightarrow\infty$

Rendeljünk a rendszerhez egy energiafüggvényt, pl.:

$$V(\underline{x})=\frac{1}{2}\left(x_1^2+x_2^2+\dots x_n^2\right)=\frac{1}{2}\underline{x}^T\cdot\underline{x}$$

Tétel: Ha $\begin{cases}V(0)=0\\ \dot{V}(x)>0,\ \forall t\neq 0\\ \dfrac{d\dot{V}(x)}{dt}<0,\ \forall t\neq 0\end{cases}\Rightarrow$ a rendszer stabil.

Megjegyzés: A tétel kijelentése szerint V pozitív, szigorúan csökkenő függvény, tehát $V\rightarrow 0$, amiből következik, hogy $\underline{x}\rightarrow 0$.

Rendeljük a robotkarhoz az alábbi Lyapunov függvényt:

$$V(t)=\frac{1}{2}\dot{\underline{q}}^T\cdot H(\underline{q})\cdot\dot{\underline{q}}+\frac{1}{2}\underline{e}^T\cdot K_P\cdot\underline{e}$$

$H(\underline{q}) > 0$ – pozitív definit inerciamátrix, $K_P > 0$ – pozitív diagonális mátrix $\Rightarrow V(t) > 0$
Látszik, hogy ha $V(t) \to 0 \Rightarrow \underline{\dot{q}} \to 0$ (sebesség), $\underline{e} \to 0$ (pozíciószabályozási hiba)

$$\dot{V}(t) = \frac{1}{2}\underline{\ddot{q}}^T \cdot H(\underline{q}) \cdot \underline{\dot{q}} + \frac{1}{2}\underline{\dot{q}}^T \cdot \dot{H}(\underline{q}) \cdot \underline{\dot{q}} + \frac{1}{2}\underline{\dot{q}}^T \cdot H(\underline{q}) \cdot \underline{\ddot{q}} + \frac{1}{2}\underline{\dot{e}}^T \cdot K_P \cdot \underline{e} + \frac{1}{2}\underline{e}^T \cdot K_P \cdot \underline{\dot{e}}$$

$$\left(x^T \cdot A \cdot y = y^T \cdot A \cdot x\right)$$

$$\dot{V}(t) = \underline{\dot{q}} \cdot H(\underline{q}) \cdot \underline{\ddot{q}} + \frac{1}{2}\underline{\dot{q}}^T \cdot \dot{H}(\underline{q}) \cdot \underline{\dot{q}} + \underline{\dot{e}}^T \cdot K_P \cdot \underline{e}$$

$$\left.\begin{aligned} \underline{\dot{e}} &= \underline{\dot{q}}_{ref} - \underline{\dot{q}} \\ \underline{\dot{q}}_{ref} &= 0 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \underline{\dot{e}} = -\underline{\dot{q}} \text{ (mivel PTP mozgás van)}$$

$$\dot{V}(t) = \underline{\dot{q}} \cdot H(\underline{q}) \cdot \underline{\ddot{q}} + \frac{1}{2}\underline{\dot{q}}^T \cdot \dot{H}(\underline{q}) \cdot \underline{\dot{q}} - \underline{\dot{q}}^T \cdot K_P \cdot \underline{e}$$

$$H(\underline{q}) \cdot \underline{\ddot{q}} = -C(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) \cdot \underline{\dot{q}} - G(\underline{q}) + \tau = -C(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) \cdot \underline{\dot{q}} - G(\underline{q}) + K_P \cdot \underline{e} + K_P \cdot T_d \cdot \underline{\dot{e}} + G(\underline{q})$$

$$\dot{V}(t) = \underline{\dot{q}}^T \cdot \left(-C(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) \cdot \underline{\dot{q}} + K_P \cdot \underline{e} + K_P \cdot T_d \cdot \underline{\dot{e}}\right) + \frac{1}{2}\underline{\dot{q}}^T \cdot \dot{H}(\underline{q}) \cdot \underline{\dot{q}} - \underline{\dot{q}}^T \cdot K_P \cdot \underline{e}$$

$$\dot{V}(t) = \underline{\dot{q}}^T \cdot \left(-C(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) + \frac{1}{2}\dot{H}(\underline{q})\right) \cdot \underline{\dot{q}} + \underline{\dot{q}}^T K_P \cdot \underline{e} + \underline{\dot{q}}^T K_P \cdot T_d \cdot \underline{\dot{e}} - \underline{\dot{q}}^T K_P \cdot \underline{e}$$

A dinamikus modell tulajdonsága alapján:

$$-C(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) + \frac{1}{2}\dot{H}(\underline{q}) = 0$$

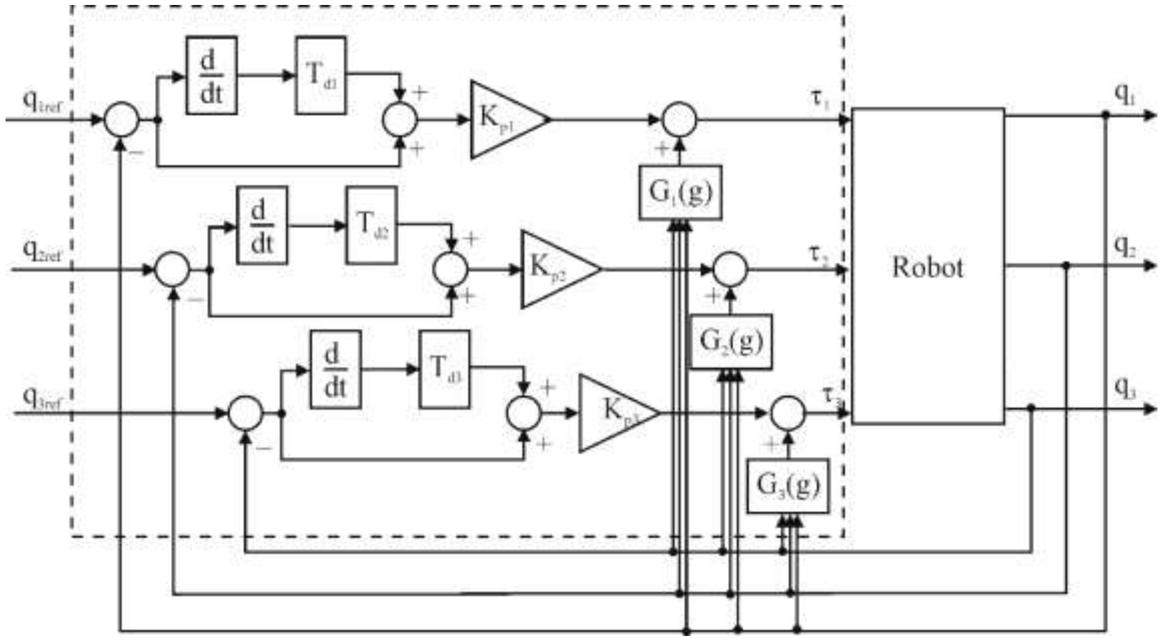
ugyanakkor $\underline{\dot{e}} = -\underline{\dot{q}}$

$$\dot{V}(t) = -\underline{\dot{q}}^T K_P \cdot T_d \cdot \underline{\dot{q}}$$

$K_P \cdot T_d$ – pozitív definit $\Rightarrow \dot{V}(t) < 0 \quad \forall \underline{\dot{q}} \neq 0$
Tehát a Lyapunov tétel értelmében a PD és gravitációkompenzálást alkalmazó szabályozó garantálja, hogy:

$$\begin{aligned} \underline{e} = \underline{q}_{ref} - \underline{q} &\to \underline{0} \\ \underline{\dot{q}} &\to \underline{0} \end{aligned}$$

A szabályozó blokkrajza három szabadságfokra:



1. Ábra: Ponttól pontig szabályozás PD+G szabályozással

PID szabályozás: A gravitációkompenzálás helyett alkalmazhatunk integráló szabályozást. A szabályozót kibővítjük az alábbi formában:

$$\underline{\tau}(t) = K_{P_i}\left(\underline{e}(t) + T_d\frac{d\underline{e}}{dt} + \frac{1}{T_i}\int_0^t \underline{e}(\sigma)d\sigma\right)$$

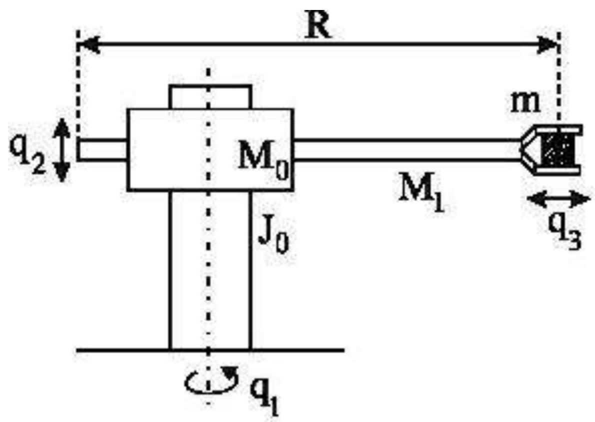
$$\frac{1}{T_i} = \begin{pmatrix} \frac{1}{T_1} & & & 0 \\ & \frac{1}{T_2} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \frac{1}{T_n} \end{pmatrix}, \quad \int_0^t \underline{e}(\sigma)d\sigma = \begin{pmatrix} \int_0^t e_1(\sigma)d\sigma \\ \int_0^t e_2(\sigma)d\sigma \\ \vdots \\ \int_0^t e_n(\sigma)d\sigma \end{pmatrix}$$

Ez az irányítás ugyancsak garantálja, hogy $e(t) \to 0$

Előnye, hogy a τ_i csak q_i-től függ. A PD és gravitációkompenzálás esetében a gravitációs tag függhetett a többi csuklóváltozótól is.

3. A mérés menete

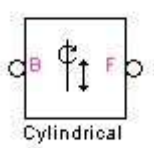
Feladat: Legyen a 3 Ábrán látható cilindrikus robotkar. A robot méretei a 4 Ábrán láthatóak. A robot mindhárom szegmensének a tömege *m=1 kg*, inerciája $J_x=J_y=J_z=1E\text{-}4$ kgm^2. tervezzünk PID irányítást a robotkarnak, amely a belülről lefest egy két méter átmérőjű, 1 méter magas hengert 100^o szélességben.



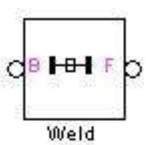
3. Ábra: Cilindrikus robot

Alkalmazandó új SimMechanics elemek:

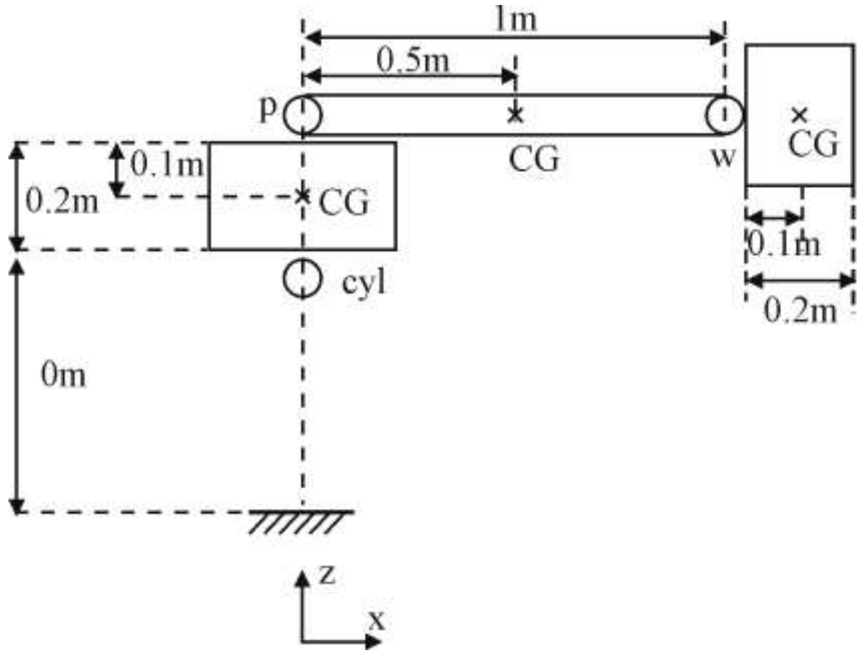
Environment: A környezet blokk segítségével állíthatjuk be, hogy a gravitáció melyik tengely mentén legyen, és mekkora legyen a mértéke. Azt az elemet a *Grund* elemhez kell csatolni. Ehhez az szükséges, hogy a *Ground*-on engedélyezzük a *Show Environment port* opciót.



Cylindrical joint: Az összetett cilindrikus csuklóban a rotációs és a transzlációs tengelyek vektorának komponenseit kell megadni. Mindkét tengelyhez külön szenzort és beavatkozót csatolunk. A szenzornál/beavatkozónál be kell állítani, hogy azt a rotációs vagy a prizmatikus csuklóhoz szeretnénk-e csatolni.



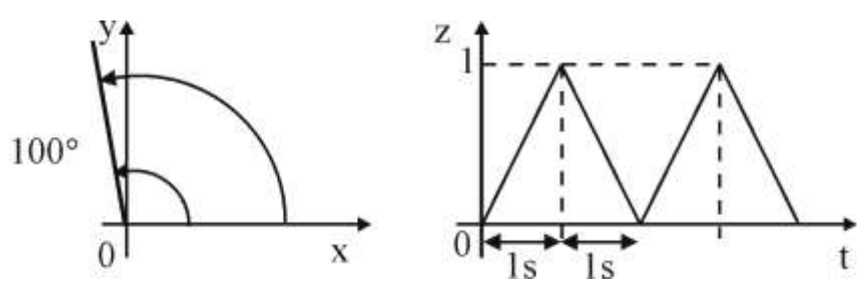
Weld joint: Ha két szegmenst mereven szeretnénk csatolni, ezt kell a csuklót kell alkalmazni. Nem kell felparaméterezni.



4. Ábra: A robot schematikus rajza a SimMechanics modell elkészítéséhez

A feladat megoldásának lépései:

- Készítsük el a robot mechanikai modelljét a 4. Ábra alapján.
- Alakítsunk ki PID szabályozóköröket mindkét csuklón. A cilindrikus csuklón a rotációs és prizmatikus komponenseknek külön- külön szabályozó kört alakítsunk ki.
- Hangoljuk be a PID szabályozó paramétereit kézi hangolással egy tesztfeladat keretében. A tesztfeladat során a cilindrikus csukló rotációs komponensének az alapjele 30 fok, a prizmuatikus komponens alapjele 0.3 méter. A második prizmatikus csuklónak az alapjele legyen -0.3 méter.
- Ahhoz, hogy a festési feladatot megoldjuk, a cilindrikus csuklónál az alapjelet előállító konstans blokkokat cseréljük le *Repeating sequence* blokkokra. A kigenerálandó profilokat a rotációs és a prizmatikus komponensekre 4. Ábra mutatja. A rotációs csukló 10 másodperc alatt forduljon 100 fokot, a prizmatikus komponens 1 másodperc alatt emelkedjen 1 métert, illetve süllyedjen 1 métert és tegye ezt 10 másodpercig.



4. Ábra: Pozíció alapjelek a festési feladathoz

4. Kérdések és feladatok

1. Válassuk a gravitációs gyorsulást nullának és valósítsuk meg a szabályozást PD szabályozóval is.
2. Módosítsuk úgy a feladat megoldását, hogy a z tengely mentén nem háromszög alapjelet, hanem szinusz-jelet alkalmazunk.
3. Módosítsuk úgy az alapjeleket, hogy a robot ne egy hengeres felületet, hanem egy síkfelületet fessen le.