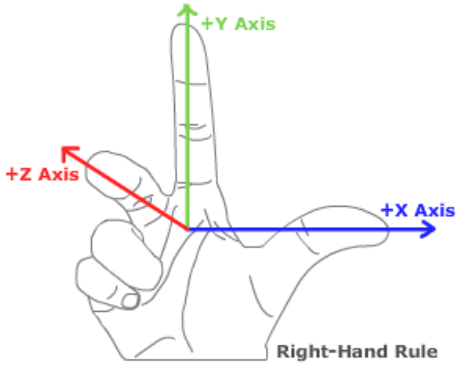
07. Kinematika, inverz kienamtika, Szimulált robotkar programozása csukló-, és munkatérben

Ismétlés

3D transzformációk

- 

  Pozíció: 3 elemű offszet vektor
- **Orientáció:** 3 x 3 rotációs matrix
  - további orientáció reprezentációk: Euler-szögek, RPY, angle axis, quaternion
- **Helyzet** (pose): 4 × 4 transzformációs mártrix
- **Koordináta rendszer** (frame): null pont, 3 tengely, 3 bázis vektor, jobbkéz-szabály
- **Homogén transzformációk:** rotáció és transzláció együtt
  - pl. \(\mathbf{R}\) rotáció és \(\mathbf{v}\) transzláció esetén:

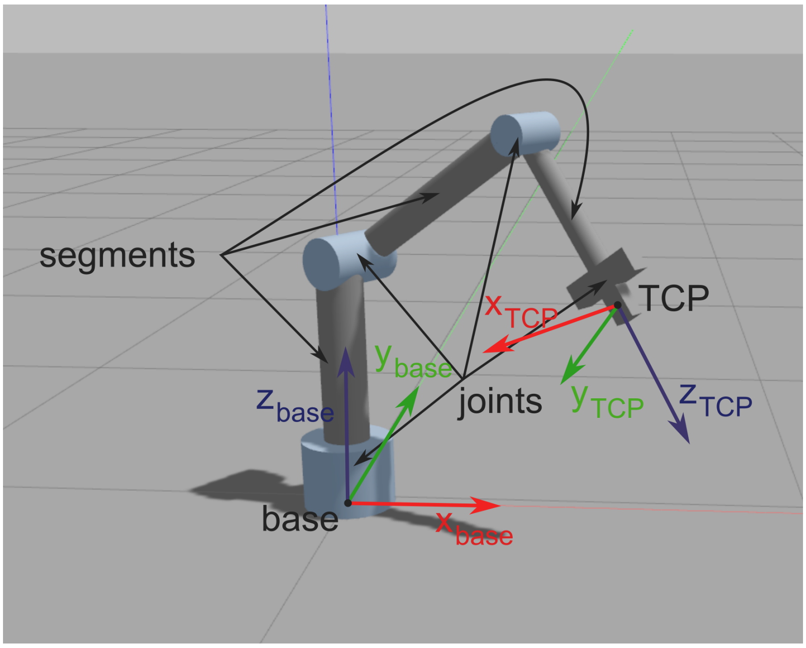
$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix}\mathbf{R} & \mathbf{v}\\\mathbf{0} & 1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}r_{1,1} & r_{1,2} & r_{1,3} & v_x\\r_{2,1} & r_{2,2} & r_{2,3} & v_y\\r_{3,1} & r_{3,2} & r_{3,3} & v_z\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}$$

- **Homogén koordináták:**
    - **Vektor:** 0-val egészítjük ki, $\mathbf{a_H}=\begin{bmatrix}\mathbf{a} \\ 0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}a_x \\ a_y \\ a_z \\ 0\end{bmatrix}$
    - **Pont:** 1-gyel egészítjük ki, $\mathbf{p_H}=\begin{bmatrix}\mathbf{p} \\ 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1\end{bmatrix}$
    - Transzformációk alkalmazása egyszerűbb:

$$\mathbf{q} = \mathbf{R}\mathbf{p} + \mathbf{v} \to \begin{bmatrix}\mathbf{q} \\ 1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathbf{R} & \mathbf{v}\\\mathbf{0} & 1\end{bmatrix} \begin{bmatrix}\mathbf{p} \\ 1\end{bmatrix}$$

- **Szabadsági fok** (DoF): egymástól független mennyiségek száma.

Robotikai alapok



- Robotok felépítése: **szegmensek** (segment, link) és **csuklók** (joints)
- **Munkatér** (task space, cartesian space):
    - Háromdimenziós tér, ahol a feladat, trajektóriák, akadályok, stb. definiálásra kerülnek.

  - **TCP** (Tool Center Point): az end effektorhoz rögzített koordináta rendszer (frame)
  - **Base/world frame**
- **Csuklótér** (joint space):
  - A robot csuklóihoz rendelt mennyiségek, melyeket a robot alacsony szintű irányító rendszere értelmezni képes.
  - csukló koordináták, sebességek, gyorsulások, nyomatékok...

Elmélet

Kinematika, inverz kinematika

Def. Kinematika

A TCP (vagy bármi más) helyzetének kiszámítása a csukló koordinátákból.

- Kinematikai modell
  - Denavit--Hartenberg (HD) konvenció
  - URDF (Unified Robotics Description Format, XML-alapú)

Ha a segmensekhez rendelt koordináta rendszerek rendre $base, 1, 2, 3, ..., TCP$, a szomszédos i and $i+1$ szegmensek közötti transzfomrációk $T_{i+1,i}(q_{i+1})$ (mely a közbezárt csukló szögének függvénye), a transzfomráció a base frame és a TCP között felírható (n csuklós robotra):

$$ T_{TCP,base}(q_1, \cdots, q_n) = T_{TCP,n-1}(q_{n}) \cdot T_{n-1,n-2}(q_{n-1}) \cdots T_{2,1}(q_2) \cdot T_{1,base}(q_1) \cdot base $$

Def. Inverz kinematika

Csukló koordináták kiszámítása a (kívánt) TCP (vagy bármi más) pose eléréséhez.

Differenciális inverz kinematika

> **Def. Differenciális inverz kinematika**
>
> A csukló koordináták mely változtatása éri el a kívánt, **kis mértékű változást** a TCP helyzetében (rotáció és transzláció).

- **Jacobi-mátrix** (Jacobian): egy vektorértékű függvény elsőrendű parciális deriváltjait tartalmazó mátrix.

  $$ \mathbf{J} = \left[\matrix{\frac{\partial x_1}{\partial q_1} & \frac{\partial x_1}{\partial q_2} &\frac{\partial x_1}{\partial q_3} & \dots &\frac{\partial x_1}{\partial q_n} \\ \frac{\partial x_2}{\partial q_1} & \frac{\partial x_2}{\partial q_2} &\frac{\partial x_2} {\partial q_3} & \dots &\frac{\partial x_2}{\partial q_n} \\ \frac{\partial x_3}{\partial q_1} & \frac{\partial x_3}{\partial q_2} &\frac{\partial x_3}{\partial q_3} & \dots &\frac{\partial x_3}{\partial q_n} \\ \vdots &\vdots &\vdots &\ddots &\vdots \\ \frac{\partial x_m}{\partial q_1} & \frac{\partial x_m}{\partial q_2} &\frac{\partial x_m}{\partial q_3} & \dots &\frac{\partial x_m}{\partial q_n} \\}\right] $$

- **Jacobi-mátrix jelentősége robotikában**: megadja az összefüggést a csuklósebességek és a TCP sebessége között.

  $$ \left[\matrix{\mathbf{v} \\ \mathbf{\omega}}\right] =\mathbf{J}(\mathbf{q})\cdot \mathbf{\dot{q}} $$

Inverz kinematika Jacobi inverz felhasználásával

1. Számítsuk ki a kívánt és az aktuális pozíció különbségét: $\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_{desired} - \mathbf{r}_0$
2. Számítsuk ki a rotációk különbségét: $\Delta\mathbf{R} = \mathbf{R}_{desired}\mathbf{R}_{0}^{T}$, majd konvertáljuk át axis angle reprezentációba $(\mathbf{t},\phi)$
3. Számítsuk ki $\Delta\mathbf{ q}=\mathbf{J}^{-1}(\mathbf{q_0})\cdot \left[\matrix{k_1 \cdot \Delta\mathbf{r} \\ k_2 \cdot \phi \cdot \mathbf{t}}\right]$, ahol az inverz lehet pszeudo-inverz, vagy transzponált
4. $\mathbf{q}_{better} = \mathbf{q}_{0} + \Delta\mathbf{q}$

Gyakorlat

1: Doosan2 install

1. Telepítsük a dependency-ket.


```
sudo apt update
sudo apt-get install libpoco-dev
sudo apt-get install ros-foxy-control-msgs ros-foxy-realtime-tools ros-foxy-xacro ros-foxy-joint-state-publisher-gui
pip3 install kinpy
```

> **Tip**
>
> A `kinpy` csomag forrását is töltsük le, hasznos lehet az API megértése szempontjából: https://pypi.org/project/kinpy/

2. Clone-ozzuk és build-eljük a repo-t.

```
mkdir -p ~/doosan2_ws/src
cd ~/doosan2_ws/src
git clone https://github.com/TamasDNagy/doosan-robot2.git
git clone https://github.com/ros-controls/ros2_control.git
git clone https://github.com/ros-controls/ros2_controllers.git
git clone https://github.com/ros-simulation/gazebo_ros2_control.git
cd ros2_control && git reset --hard 3dc62e28e3bc8cf636275825526c11d13b554bb6 && cd ..
cd ros2_controllers && git reset --hard 83c494f460f1c8675f4fdd6fb8707b87e81cb197 && cd ..
```

```
cd gazebo_ros2_control && git reset --hard
3dfe04d412d5be4540752e9c1165ccf25d7c51fb && cd ..
git clone -b ros2 --single-branch https://github.com/ros-planning/moveit_msgs
cd ~/doosan2_ws
rosdep update
rosdep install --from-paths src --ignore-src --rosdistro foxy -r -y
colcon build --cmake-args -DCMAKE_EXPORT_COMPILE_COMMANDS=ON
. install/setup.bash
rosdep update
```

> **Warning**
>
> A VM-eken már telepítve van, de itt is frissítsük a repo-t:
>
> ```
> cd ~/doosan2_ws/src/doosan-robot2
> git pull
> cd ~/doosan2_ws
> colcon build --cmake-args -DCMAKE_EXPORT_COMPILE_COMMANDS=ON
> ```

Adjuk hozzá az alábbi sort a `~/.bashrc` fájlhoz:

```
source ~/doosan2_ws/install/setup.bash
```

3. Teszteljük a szimulátort, új teminál ablakban:

```
ros2 launch dsr_launcher2 single_robot_rviz_topic.launch.py model:=a0912 color:=blue
```

2: Robot mozgatása csuklótérben

1. Iratkozzunk fel a robot csuklószögeit (konfigurációját) publikáló topicra. Hozzunk létre publisher-t a csuklók szögeinek beállítására használható topic-hoz.

```
/joint_states
/joint_cmd
```

2. Mozgassuk a robotot `q = [0.24, -0.3, 1.55, 0.03, 1.8, 0.5]` konfigurációba.

3. Kinematika

1. Importáljuk a `kinpy` csomagot és olvassuk be a robotot leíró urdf fájlt:

```
import kinpy as kp

self.chain = kp.build_serial_chain_from_urdf(open(
        "/home/<USERNAME>/doosan2_ws/src/doosan-robot2/dsr_description2/urdf/
a0912.blue.urdf").read(),
        "link6")
print(self.chain.get_joint_parameter_names())
print(self.chain)
```

2. Számítsuk ki, majd irassuk ki a TCP pozícióját az adott konfigurációban a `kinpy` csomag segítségével.

```
tg = chain.forward_kinematics(th1)
```

4: Inverz kinematika Jacobi inverz módszerrel

Írjunk metódust, amely az előadásban bemutatott Jakobi inverz módszerrel valósítja meg az inverz kinematikai feladatot a roboton. Az orientációt hagyjuk figyelmen kívül. Mozgassuk a TCP-t a `(0.55, 0.05, 0.45)` pozícióba.

1. Írjunk egy ciklust, melynek megállási feltétele a `delta_r` megfelelő nagysága, vagy `rospy.is_shutdown()`.

2. Számítsuk ki a kívánt és a pillanatnyi TCP pozíciók különbségét (`delta_r`). Skálázzuk `k_1` konstanssal.

3. `phi_dot_t` legyen `[0.0, 0.0, 0.0]` (ignoráljuk az orientációt).

4. Konkatenáljuk `delta_r` és `phi_dot_t`-t.

5. Számítsuk ki a Jacobi mátrixot az adott konfigurációban a `kp.jacobian.calc_jacobian(...)` függvény segítségével.

6. Számítsuk ki Jacobi mátrix pszeudo-inverzét `np.linalg.pinv(...)`.

7. A fenti képlet segítségével számítsük ki `delta_q`-t.

8. Növeljük a csuklószögeket a kapott értékekkel.

Bónusz: Inverz kinematika orientációval

Egészítsük ki az előző feladat megoldását úgy, hogy az orientációt is figyelembe vesszük az inverz kinematikai számítás során.

Hasznos linkek

- doosan-robot2 github
- https://pypi.org/project/kinpy/
- https://en.wikipedia.org/wiki/Axis%E2%80%93angle_representation
- https://www.rosroboticslearning.com/jacobian