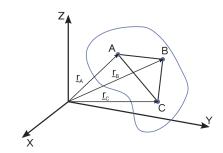
04. Robotikai alapfogalmak, da Vinci sebészrobot programozása szimulált környezetben

Elmélet

Merev test mozgása



Def. Merev test

Merevnek tekinthető az a test, mely pontjainak távolsága mozgás során nem változik, vagyis bármely két pontjának távolsága időben állandó.

- Merev test alakja, térfogata szintén állandó.
- Merev test térbeli helyzete megadható bármely 3 nem egy egyenesbe eső pontjának helyzetével.



- A test **helyzetét** szemléletesebben megadhatjuk egy tetszőleges pontjának 3 koordinátájával (pozíció) és a test orientációjával.
- Merev testek mozgásai két elemi mozgásfajtából tevődnek össze: haladó mozgás (transzláció) és tengely körüli forgás (rotáció)
- Transzlációs mozgás során a test minden pontja egymással párhuzamos, egybevágó pályát ír le, a test orientációja pedig nem változik.



- **Rotáció** során a forgástengelyen lévő pontok pozíciója nem változik, a test többi pontja pedig a forgástengelyre merőleges síkokban körpályán mozog.
- A merev test szabad mozgása is leírható mint egyidejűleg egy bizonyos tengely körüli forgás és egy haladó mozgás.

•



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, jobbkézszabály
- Homogén transzformációk: rotáció és transzláció együtt
 - pl. \(\mathbf{R}\) rotáció és \(\mathbf{v}\) transzláció esetén:

 $$$ \mathbf{T} = \left[\mathbf{R} & \mathbf{0} & 1 \right] = \left[\mathbf{T}_{1,1} & r_{1,2} & r_{1,3} & v_x \right] = \left[\mathbf{T}_{3,1} & r_{3,2} & r_{3,3} & v_x \right] \\ v_y \left[3,1 \right] & r_{3,2} & r_{3,3} & v_x \right] \\$

- · Homogén koordináták:
 - Vektor: 0-val egészítjük ki, \(\mathbf{a_H}=\left[\matrix{\mathbf{a} \\ 0}\right]=\left[\matrix{a x \\ a y \\ a z \\ 0}\right]\)
 - Pont: 1-gyel egészítjük ki, \(\mathbf{p_H}=\left[\matrix{\mathbf{p} \\ 1}\right]=\left[\matrix{p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1}\right]\)
 - Transzformációk alkalmazása egyszerűbb:

 $$$ \left(\mathbf{q} = \mathbf{R}\right) + \mathbf{v} \to \left[\mathbf{q} \right] + \mathbf{q} \\ \left(\mathbf{q} \right) = \left[\mathbf{q} \right] + \mathbf{q} \\ \left(\mathbf{q} \right) + \mathbf{q} \\ \left(\mathbf{q}$

• 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...

Python libraries

Numpy

• Python library

- High dimension arrays and matrices
- Mathematical functions

```
import numpy as np
# Creating ndarrays
a = np.zeros(3)
a.shape
a.shape=(3,1)
a = np.ones(5)
a = np.empty(10)
l = np.linspace(5, 10, 6)
r = np.array([1,2]) # ndarray from python list
r = np.array([[1,2],[3,4]])
type(r)
# Indexing
l[0]
1[0:2]
1[-1]
r[:,0]
# Operations on ndarrays
r_sin = np.sin(r)
np.max(r)
np.min(r)
np.sum(r)
np.mean(r)
np.std(r)
1 < 7
l[1 < 7]
np.where (l < \textcolor{red}{7})
p = np.linspace(1, 5, 6)
q = np.linspace(10, 14, 6)
s = p + q
s = p * q
s = p * 10
s = p + 10
s = p @ q # dot product
s = r.T
```

If not installed:

```
pip3 install numpy
```

Matplotlib

- Visualization in python
- Syntax similar to Matlab

```
import numpy as np
from matplotlib import pyplot as plt

X = np.linspace(-np.pi, np.pi, 24)
C, S = np.cos(X), np.sin(X)

plt.plot(X, C, label='y=cos(x)', marker='.')
plt.plot(X, S label='y=sin(x)', marker='.')

plt.xlabel('x')
plt.ylabel('y')
plt.legend()

plt.show()
```

If not installed:

```
pip3 install matplotlib
```

Gyakorlat

1: dVRK ROS 2 install

1. Klónozzuk a dVRK-t (da Vinci Reserach Kit) vcs segítségével egy új workspace-be, majd build-eljük:

```
mkdir -p ~/dvrk2_ws/src
cd ~/dvrk2_ws/src
vcs import --input https://raw.githubusercontent.com/jhu-dvrk/dvrk_robot_ros2/main/
dvrk.vcs --recursive
cd ~/dvrk2_ws
colcon build --cmake-args -DCMAKE_BUILD_TYPE=Release
source ~/dvrk2_ws/install/setup.bash
```

2. A .bashrc fájl végére illesszük be az alábbi sort:

```
source ~/dvrk2_ws/install/setup.bash
```

3. Indítsuk el a PSM1 (Patient Side Manipulator) RViz szimulációját. A dVRK konzolon ne felejtsünk el HOME-olni. Tanulmányozzuk a szimulátor működését a tanult parancsok (ros2 topic list, ros2 topic echo ros2 run rqt_gui rqt_gui, stb.) használatával.

```
# dVRK main console
ros2 run dvrk_robot dvrk_console_json -j ~/dvrk2_ws/install/sawIntuitiveResearchKitAll/
share/sawIntuitiveResearchKit/share/console/console-PSM1_KIN_SIMULATED.json

# ROS 2 joint and robot state publishers
ros2 launch dvrk_model dvrk_state_publisher.launch.py arm:=PSM1

# RViz
ros2 run rviz2 rviz2 -d ~/dvrk2_ws/install/dvrk_model/share/dvrk_model/rviz/PSM1.rviz

# rqt_gui
ros2 run rqt_gui rqt_gui
```

2: PSM subscriber implementálása

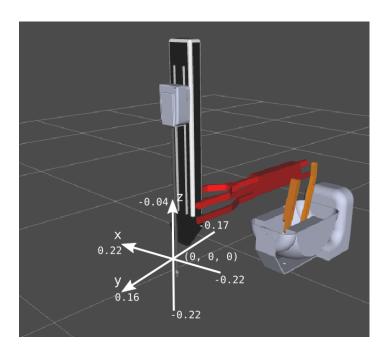
- 1. Hozzunk létre új python forrásfájlt psm_grasp.py névvel a ~/ros2_ws/src/ ros2_course/ros2_course mappában. Adjuk meg az új entry point-ot a setup.py-ban a megszokott módon.
- 2. Iratkozzunk fel a PSM TCP (Tool Center Point) pozícióját és a csipesz pofái által bezárt szögét publikáló topic-okra.

```
/PSM1/measured_cp
/PSM1/jaw/measured_js
```

3. Build-eljünk és futtassuk a node-ot:

```
cd ~/ros2_ws
colcon build --symlink-install
ros2 run ros2_course psm_grasp
```

3. PSM TCP mozgatása lineáris trajektória mentén

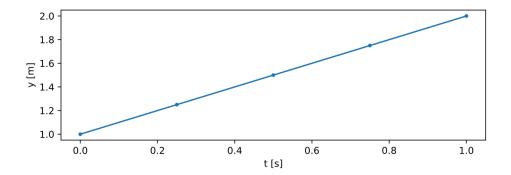


1. A PSM a lenti topicok-ban várja a kívánt TCP pozíciót és a csipesz pofái által bezárt szöget. Hozzunk létre publishereket a psm_grasp.py fájlban ezekhez a topicokhoz.

/PSM1/servo_cp /PSM1/jaw/servo_jp

2. Írjunk függvényt, amely lineáris trajektória mentén a kívánt pozícióba mozgatja a TCP-t. Küldjük az csipeszt a (0.0, 0.05, -0.12) pozícióba, az orientációt hagyjuk változatlanul. 0.01s legyen a mintavételi idő. Matplotlib használatával plotoljuk a tervezett trajektória x, y és z komponensét idő függvényében.

def move tcp to(self, target, v, dt):



3. Írjunk függvényt, amellyel a csipeszt tudjuk nyitni-zárni, szintén lineáris trajektória használatával.

```
def move_jaw_to(self, target, omega, dt):
```

4. Dummy marker létrehozása

1. Hozzunk létre új python forrásfájlt dummy_marker.py névvel. Adjuk meg az entry point-ot a setup.py -ban a megszokott módon. Implementájunk python programot, amely markert publikál (-0.05, 0.08, -0.14) pozícióval dummy_target_marker nevű topic-ban. A frame_id addattag értéke legyen PSM1_psm_base_link . Másoljuk az alábbi kódot a dummy_marker.py fájlba:

```
import rclpy
from rclpy.node import Node
from visualization_msgs.msg import Marker
class DummyMarker(Node):
  def init (self, position):
     super(). init ('minimal publisher')
     self.position = position
     self.publisher\_ = self.create\_publisher(Marker, 'dummy\_target\_marker', \textcolor{red}{10})
     timer_period = 0.1 \# seconds
     self.timer = self.create timer(timer period, self.timer callback)
     self.i = 0
     i = 0
  def timer callback(self):
     marker = Marker()
     marker.header.frame id = 'PSM1 psm base link'
     marker.header.stamp = self.get clock().now().to msg()
     marker.ns = "dvrk_viz"
```

```
marker.id = self.i
     marker.type = Marker.SPHERE
     marker.action = Marker.MODIFY
    marker.pose.position.x = self.position[0]
    marker.pose.position.y = self.position[1]
     marker.pose.position.z = self.position[2]
    marker.pose.orientation.x = 0.0
     marker.pose.orientation.y = 0.0
     marker.pose.orientation.z = 0.0
     marker.pose.orientation.w = 1.0
     marker.scale.x = 0.008
     marker.scale.y = 0.008
    marker.scale.z = 0.008
    marker.color.a = 1.0 \# Don't forget to set the alpha!
     marker.color.r = 0.0
     marker.color.g = 1.0
     marker.color.b = 0.0;
    self.publisher .publish(marker)
     self.i += 1
def main(args=None):
  rclpy.init(args=args)
  marker publisher = DummyMarker([-0.05, 0.08, -0.12])
  rclpy.spin(marker_publisher)
  # Destroy the node explicitly
  # (optional - otherwise it will be done automatically
  # when the garbage collector destroys the node object)
  marker_publisher.destroy_node()
  rclpy.shutdown()
if __name__ == '__main__':
  main()
```

2. Futtassuk a node-ot és jelenítsük meg a markert RViz-ben.

5. Marker megfogása

- 1. Iratkozzunk fel a marker pozícióját küldő topic-ra a psm_grasp.py -ban.
- 2. Módosítsuk a psm_grasp.py programot úgy, hogy a csipesszel fogjuk meg a generált markert.

Note

A használt szimulátor hajlamos rá, hogy bizonyos értékek "beragadjanak", ezért a program elején érdemes az alábbi sorok használatával resetelni a kart:

```
#Reset the arm psm.move_tcp_to([0.0, 0.0, -0.12], 0.01, 0.01) psm.move_jaw_to(0.0, 0.1, 0.01)
```

6. TCP mozgatása körív mentén

1. Implementáljunk metódust, amely r sugrú körív mentén mozgatja a megfogót.

Hasznos linkek

- Download and compile dVRK 2
- Marker examples
- Numpy vector magnitude
- Numpy linspace