



## 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, egybeeső 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**.

## 3D transzformációk

•



**Pozíció:** 3 elemű offset vektor

• **Orientáció:** 3 x 3 rotációs matrix

- további orientáció reprezentációk: Euler-szögek, RPY, angle axis, quaternion

• **Helyzet** (pose):  $4 \times 4$  transzformációs mátrix

• **Koordináta rendszer** (frame): null pont, 3 tengely, 3 bázis vektor, jobbkéz-szabály

• **Homogén transzformációk:** rotáció és transláció együtt

- pl.  $\mathbf{R}$  rotáció és  $\mathbf{v}$  transláció 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:

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

• **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...

## 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]
l[0:2]
l[-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)

l < 7
l[l < 7]
np.where(l < 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

I

### 1: dVRK ROS 2 install

1. Klónozzuk a dVRK-t (da Vinci Research 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. Implementáljunk 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', 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](#)