

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет ИТМО»  
(Университет ИТМО)

Факультет систем управления и робототехники

Отчёт по практической работе №3

по дисциплине  
*«Имитационное моделирование робототехнических систем»*

Студент:  
*Группа № R4134с*

*Д.С. Обухова*

Преподаватель:  
*ассистент ФСУиР*

*Е.А. Ракишин*

Санкт Петербург 2025

## Начальные данные (вариант «tendon», #35, ису 336878)

$$R_1 = 0.011 \text{ м}, R_2 = 0.012 \text{ м}$$

$$a = 0.08 \text{ м}, b = 0.088 \text{ м}, c = 0.047 \text{ м}$$

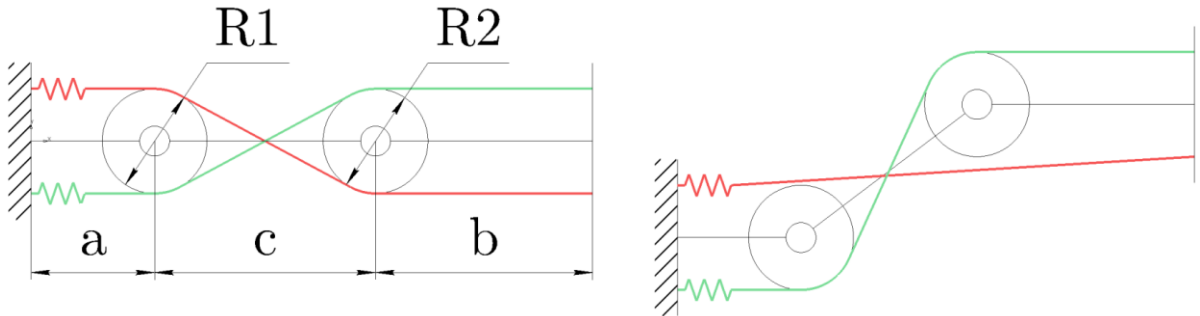


Рисунок 1 - Плоский механизм, соединенный сухожилием 2R.

### 1. XML-файл

Описание должно включать в себя: звенья, сайты, 2 троса (сухожилия) через точки. Чтобы тросы работали корректно нужно предусмотреть вспомогательные тела и ограничители, фиксирующие положения точек. Ориентация эффектора скреплена жёсткой связью.

```
1 def generate_tendon_xml(R1: float, R2: float, a: float, b: float, c: float):
2     stiffness = 170
3
4     return f"""
5     <mujoco model="2R_tendon_planar">
6
7         <option timestep="1e-4"/>
8         <option integrator="RK4"/>
9         <option gravity="0 0 0"/>
10
11         <asset>
12             <texture type="skybox" builtin="gradient" rgb1="1 1 1" rgb2="0.5 0.5 0.5" width="265" height="256"/>
13             <texture name="grid" type="2d" builtin="checker" rgb1="0.1 0.1 0.1" rgb2="0.6 0.6 0.6" width="300" height="300"/>
14             <material name="grid" texture="grid" texrepeat="10 10" reflectance="0.2"/>
15         </asset>
16
17         <worldbody>
18             <light pos="0 0 10"/>
19
20             <camera name="side view" pos="0.1 -1.5 1.0" euler="90 0 0" fovy="60"/>
21             <camera name="upper view" pos="0 0 1.5" euler="0 0 0"/>
22
23             <body name="wall" pos="0 0 0" euler="0 90 0">
24                 <geom type="plane" size="0.05 0.05 0.01" material="grid"/>
25                 <site name="t1_wall" pos="{R1 / 2} 0 0" type="sphere" size="0.002"/>
26                 <site name="t2_wall" pos="{R1 / 2} 0 0" type="sphere" size="0.002"/>
27             </body>
28
29             <body name="mid_body_t1" pos="{a + c / 2} 0 0">
30                 <site name="t1_mid" pos="0 0 0" type="sphere" size="0.001"/>
31                 <joint name="mid_joint_x_t1" type="slide" axis="1 0 0"/>
32                 <joint name="mid_joint_y_t1" type="slide" axis="0 0 1"/>
33                 <geom type="sphere" size="0.002" mass="0.0001" rgba="0.86 0.43 0.54 0.5" contype="0"/>
34             </body>
35
36             <body name="mid_body_t2" pos="{a + c / 2} 0 0">
37                 <site name="t2_mid" pos="0 0 0" type="sphere" size="0.001"/>
38                 <joint name="mid_joint_x_t2" type="slide" axis="1 0 0"/>
39                 <joint name="mid_joint_y_t2" type="slide" axis="0 0 1"/>
40                 <geom type="sphere" size="0.002" mass="0.0001" rgba="0.86 0.43 0.54 0.5" contype="0"/>
41             </body>
42
43             <body name="effector_link" pos="{a + b + c} 0 0">
44                 <site name="effector_world" pos="0 0 0" type="sphere" size="0.001"/>
45                 <joint name="effector_x" type="slide" axis="1 0 0"/>
46                 <joint name="effector_y" type="slide" axis="0 0 1"/>
47                 <geom type="sphere" size="0.002" mass="0.0001" rgba="0.86 0.43 0.54 0.5" contype="0"/>
48             </body>
49
50             <body name="link1" pos="0 0 0" euler="0 0 0">
51                 <geom type="cylinder" pos="{a / 2} 0 0" size="0.002 {a / 2}" euler="0 90 0" rgba="0.21 0.32 0.82 0.5" contype="0"/>
52
53                 <body name="link2" pos="{a} 0 0" euler="0 0 0">
54                     <joint name="A" type="hinge" axis="0 1 0" stiffness="0" springref="0" damping="0"/>
55                     <geom type="cylinder" pos="{c / 2} 0 0" size="0.002 {c / 2}" euler="0 90 0" rgba="0.42 0.32 0.12 0.5" contype="0"/>
```

```

57 <geom name="pulley1" type="cylinder" size="{R1 / 2} 0.001" pos="0 0 0" euler="90 0 0" rgba="0.42 0.32 0.12 0.5" contype="0"/>
58 <site name="side_r1_t1" pos="0 0 {-R1 / 2 - 0.002}" type="sphere" size="0.001"/>
59 <site name="side_r1_t2" pos="0 0 {R1 / 2 + 0.002}" type="sphere" size="0.001"/>
60 <site name="pulley1_side" pos="0 0 0" type="sphere" size="0.001"/>
61
62 <body name="link3" pos="{c} 0 0" euler="0 0 0">
63   <joint name="B" type="hinge" axis="0 1 0" stiffness="0" springref="0" damping="0"/>
64   <geom type="cylinder" pos="{b / 2} 0 0" size="0.002 {b / 2}" euler="0 90 0" rgba="0.34 0.65 0.84 0.5" contype="0"/>
65   <geom type="box" pos="{b} 0 0" size="0.002 0.002 {R2 / 2}" rgba="0.34 0.65 0.84 0.5" mass="0" contype="0"/>
66
67   <site name="t1_end" pos="{b} 0 {R2 / 2}" type="sphere" size="0.002"/>
68   <site name="t2_end" pos="{b} 0 {-R2 / 2}" type="sphere" size="0.002"/>
69
70   <geom name="pulley2" type="cylinder" size="{R2 / 2} 0.001" pos="0 0 0" euler="90 0 0" rgba="0.34 0.65 0.84 0.5" contype="0"/>
71   <site name="side_r2_t1" pos="0 0 {R2 / 2 + 0.002}" type="sphere" size="0.001"/>
72   <site name="side_r2_t2" pos="0 0 {-R2 / 2 - 0.002}" type="sphere" size="0.001"/>
73   <site name="pulley2_side" pos="0 0 0" type="sphere" size="0.001"/>
74
75   <site name="effector" pos="{b} 0 0" type="sphere" size="0.001"/>
76 </body>
77 </body>
78 </worldbody>
79
81 <tendon>
82   <spatial name="tendon1_1" width="0.001" stiffness="{stiffness}" damping="10" springlength="0.005">
83     <site site="t1_wall"/>
84     <geom geom="pulley1" sidesite="side_r1_t1"/>
85     <site site="t1_mid"/>
86     <geom geom="pulley2" sidesite="side_r2_t1"/>
87     <site site="t1_end"/>
88   </spatial>
89 </tendon>
90
91 <tendon>
92   <spatial name="tendon2_1" width="0.001" stiffness="{stiffness}" damping="10" springlength="0.005">
93     <site site="t2_wall"/>
94     <geom geom="pulley1" sidesite="side_r1_t2"/>
95     <site site="t2_mid"/>
96     <geom geom="pulley2" sidesite="side_r2_t2"/>
97     <site site="t2_end"/>
98   </spatial>
99 </tendon>
100
101 <equality>
102   <weld site1="effector" site2="effector_world" torquescale="100"/>
103
104   <connect site1="t1_mid" site2="pulley1_side"/>
105   <connect site1="t1_mid" site2="pulley2_side"/>
106   <connect site1="t2_mid" site2="pulley1_side"/>
107   <connect site1="t2_mid" site2="pulley2_side"/>
108 </equality>
109
110 <actuator>
111   <motor name="motor_t1" tendon="tendon1_1" gear="1" ctrlrange="-20 20"/>
112   <motor name="motor_t2" tendon="tendon2_1" gear="1" ctrlrange="-20 20"/>
113 </actuator>
114
115 <sensor>
116   <framepos objtype="site" objname="effector"/>
117 </sensor>
118 </mujoco>
119 ***

```

## 2. Python-файл

На основе XML-файла создан Python-код, выполняющий загрузку модели, инициализацию данных, задание управляющего воздействия и запуск визуализатора.

Во время моделирования подаётся периодический сигнал на один из тросов, положение эффектора считывается и используется для построения его траектории.

```

import mujoco
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import os
import mujoco.viewer
import time
from tendon import generate_tendon_xml

R1, R2, a, b, c = 0.011, 0.012, 0.088, 0.047

xml = generate_tendon_xml (R1, R2, a, b, c)

model = mujoco.MjModel.from_xml_string(xml.encode("utf-8"))
data = mujoco.MjData(model)

def set_torque(mj_data, KP, KV, theta):
    data.ctrl[0] = KP * (-mj_data.qpos[0] + theta) + KV * (0 - mj_data.qvel[0])

SIMEND = 20
TIMESTEP = 0.001
STEP_NUM = int(SIMEND/TIMESTEP)
timeseries = np.linspace (0, SIMEND, STEP_NUM)

T = 2
FREQ = 1/T
AMP = np.deg2rad(10)
BIAS = np.deg2rad(0)

theta_des = AMP * np.sin(FREQ * timeseries) + BIAS

EE_position_x = []
EE_position_z = []

viewer = mujoco.viewer.launch_passive (model, data)

for i in range (STEP_NUM):
    if viewer.is_running:
        set_torque(data, 20, 5, theta_des[i])

        position_EE = data.sensordata[:3]
        EE_position_x.append(position_EE[0])
        EE_position_z.append(position_EE[2])

        mujoco.mj_step(model, data)
        viewer.sync()
        time.sleep(0.001)

    else:
        break
viewer.close()

midlength = int(STEP_NUM/2)

plt.clf()
plt.plot(EE_position_x[midlength:], EE_position_z[midlength:], '-', linewidth=2, label='P')
plt.title('End-effector trajectory', fontsize=12, fontweight='bold')
plt.legend(loc='upper left')
plt.xlabel('X-Axis [m]')
plt.ylabel('Z-Axis [m]')
plt.axis('equal')
plt.grid()
plt.show()

```

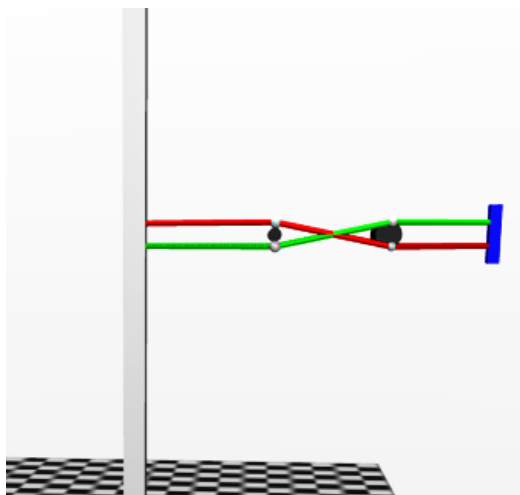


Рисунок 2 – Модель в MuJoCo.

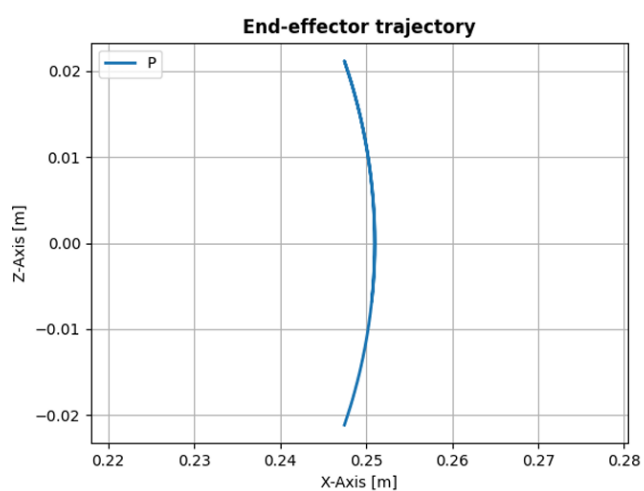


Рисунок 3 – Траектория движения эффектора.

## Заключение

В ходе выполнения данной практической работы была создана модель плоского механизма, соединенного сухожилиями, с подвижной правой базой. Моделирование в MuJoCo продемонстрировало возможную динамику системы, в том числе при воздействии управляющего воздействия.