

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

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3
по дисциплине
«Имитационное моделирование робототехнических систем»

Студент:
Группа № R4135c

E.A. Щерблюк

Предподаватель: *E.A. Ракшин*

Санкт-Петербург
2025

Цель работы: изучить способ моделирования робототехнических систем с помощью MuJoCo, для чего необходимо написать скрипт на Python с методами `model`, `data` и `viewer`, после чего успешно запустить симуляцию.

Ход работы

Таблица 1 – Задание варианта №73

Вариант	R1, м	R2, м	a, м	b, м	c, м
TENDON	0.04	0.01	0.091	0.095	0.065

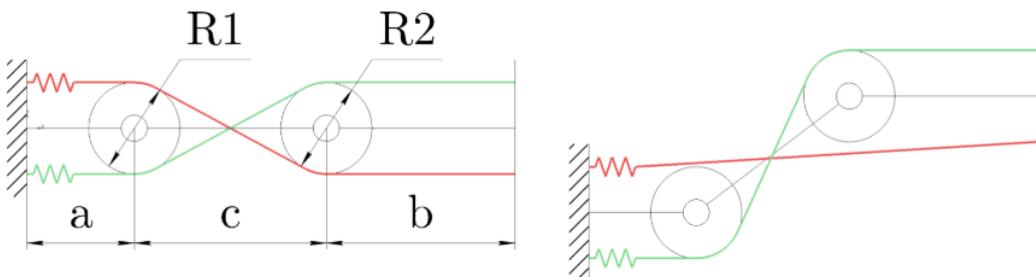


Рисунок 1 – Плоскостной механизм 2R с сухожильным соединением (1 вариант)

По заданному варианту было сформировано XML-описание пассивного механизма, включающее звенья, сайты и два троса, проходящих через заданные точки. Для корректной работы тросовой передачи предусмотрены вспомогательные тела и ограничения, фиксирующие положение промежуточных точек, а ориентация эфектора удерживается жёсткой связью.

Далее на основе XML-файла создан Python-скрипт, выполняющий загрузку модели, инициализацию данных, задание управляющего воздействия и запуск визуализатора. Во время моделирования подаётся периодический сигнал на один из тросов, а положение эфектора считывается и используется для построения его траектории. Скриншоты кода приведены в приложении, а результаты моделирования на рисунках ниже.

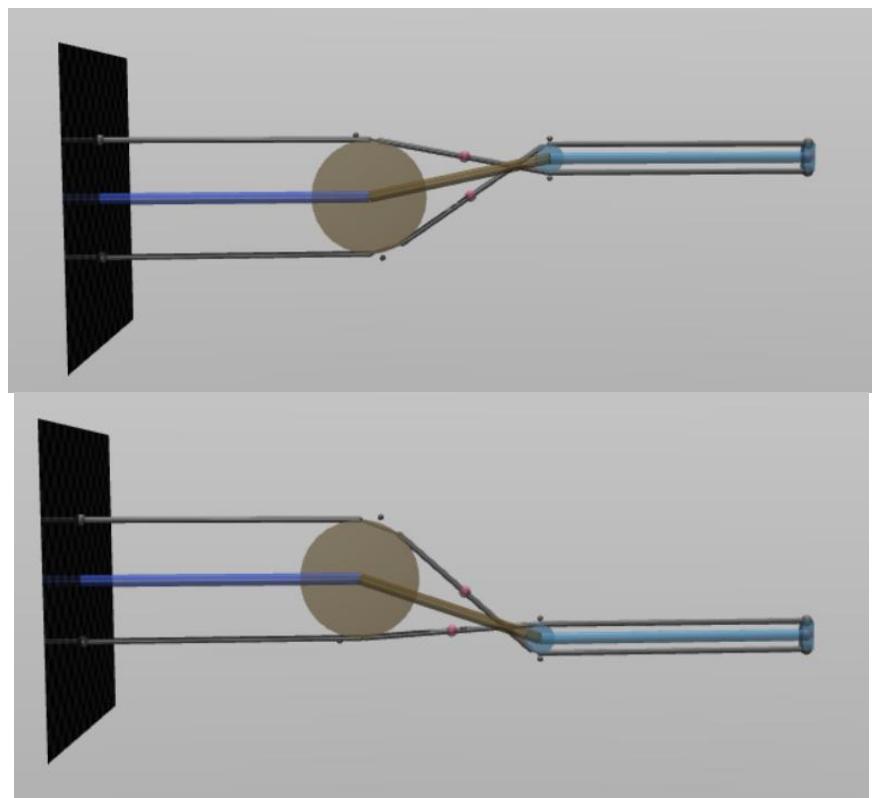


Рисунок – Модель плоскостного механизма 2R с сухожильным соединением

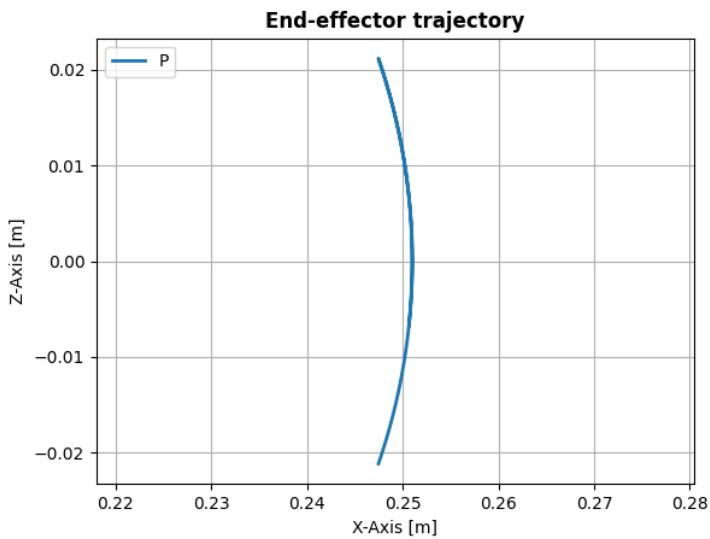


Рисунок – Траектория движения рабочего органа

Вывод: в ходе выполнения практической работы в среде MuJoCo был смоделирован плоскостного механизма 2R с сухожильным соединением. Проведённое моделирование демонстрирует корректную передачу усилия через тросы и стабильное поведение всех элементов механизма. Полученные результаты подтверждают корректность xml файла и его соответствие заданной структуре системы.

ПРИЛОЖЕНИЕ

```
1 import mujoco
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import numpy as np
4 import os
5 from lxml import etree
6 import mujoco.viewer
7 import time
8 from tendon import generate_tendon_xml
9 R1, R2, a, b, c = 0.04, 0.01, 0.091, 0.095, 0.065
10
11 xml = generate_tendon_xml(R1, R2, a, b, c)
12
13 model = mujoco.MjModel.from_xml_string(xml.encode("utf-8"))
14 data = mujoco.MjData(model)
15
16 def set_torque(mj_data, KP, KV, theta):
17     data.ctrl[0] = KP * (-mj_data.qpos[0] + theta) + KV * (0 - mj_data.qvel[0])
18
19 SIMEND = 20
20 TIMESTEP = 0.001
21 STEP_NUM = int([SIMEND / TIMESTEP])
22 timeseries = np.linspace(0, SIMEND, STEP_NUM)
23
24 T = 2 # [s]
25 FREQ = 1/T # [Hz]
26 AMP = np.deg2rad(10) # [rad]
27 BIAS = np.deg2rad(0) # [rad]
28
29 theta_des = AMP * np.sin(FREQ * timeseries) + BIAS
30
31 EE_position_x = []
32 EE_position_z = []
33
34 viewer = mujoco.viewer.launch_passive(model, data)
35 #viewer = mujoco_viewer.MujocoViewer(model,
36 #                                     data,
37 #                                     title="4bar",
38 #                                     width=1920,
39 #                                     height=1080)
40
41 for i in range(STEP_NUM):
42     if viewer.is_running:
43         set_torque(data, 20, 5, theta_des[i])
44
45         position_EE = data.sensordata[:3]
46         EE_position_x.append(position_EE[0])
47         EE_position_z.append(position_EE[2])
48
49         mujoco.mj_step(model, data)
50         viewer.sync()
51         time.sleep(0.001)
52
53     else:
54         break
55 viewer.close()
56
57 midlength = int(STEP_NUM/2)
58
59 plt.clf()
60 plt.plot(EE_position_x[midlength:], EE_position_z[midlength:], '-', linewidth=2, label='P')
61 plt.title('End-effector trajectory', fontsize=12, fontweight='bold')
62 plt.legend(loc='upper left')
63 plt.xlabel('X-Axis [m]')
64 plt.ylabel('Z-Axis [m]')
65 plt.axis('equal')
66 plt.grid()
67 plt.show()
```

Рисунок – Python код

```

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" rgbi="1 1 1" rgb2="0.5 0.5 0.5" width="265" height="256"/>
13         <texture name="grid" type="2d" builtin="checker" rgbi="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="wall1" pos="0 0 0" euler="90 0 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="0.001" 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="0.001" 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="0.001" 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"/>
56
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 {-R1 / 2 - 0.002}" type="sphere" size="0.001"/>
59             <site name="side_r1_t2" pos="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="0 {R2 / 2}" type="sphere" size="0.002"/>
68                 <site name="t2_end" pos="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 {R2 / 2 + 0.002}" type="sphere" size="0.001"/>
72                 <site name="side_r2_t2" pos="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
80     <tendon>
81         <spatial name="tendon1_1" width="0.001" stiffness="{stiffness}" damping="10" springlength="0.005">
82             <site site="t1_wall"/>
83             <geom geom="pulley1" sidesite="side_r1_t1"/>
84             <site site="t1_mid"/>
85             <geom geom="pulley2" sidesite="side_r2_t1"/>
86             <site site="t1_end"/>
87         </spatial>
88     </tendon>
89
90     <tendon>
91         <spatial name="tendon2_1" width="0.001" stiffness="{stiffness}" damping="10" springlength="0.005">
92             <site site="t2_wall"/>
93             <geom geom="pulley1" sidesite="side_r1_t2"/>
94             <site site="t2_mid"/>
95             <geom geom="pulley2" sidesite="side_r2_t2"/>
96             <site site="t2_end"/>
97         </spatial>
98     </tendon>
99
100    <equality>
101        <weld site1="effector" site2="effector_world" torquescale="100"/>
102
103        <connect site1="t1_mid" site2="pulley1_side"/>
104        <connect site1="t1_mid" site2="pulley2_side"/>
105        <connect site1="t2_mid" site2="pulley1_side"/>
106        <connect site1="t2_mid" site2="pulley2_side"/>
107    </equality>
108
109    <actuator>
110        <motor name="motor_t1" tendon="tendon1_1" gear="1" ctrllrange="-20 20"/>
111        <motor name="motor_t2" tendon="tendon2_1" gear="1" ctrllrange="-20 20"/>
112    </actuator>
113
114    <sensor>
115        <framepos objtype="site" objname="effector"/>
116    </sensor>
117
118 </mujoco>
119 """

```

Рисунок – Xml файл