

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 О ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ №3
ПО ДИСЦИПЛИНЕ: "ИМИТАЦИОННОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБОТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ"**

Выполнил

Козлов Андрей Алексеевич¹

¹ 506004, @causeloveAA

Проверил

Ракшин Егор Александрович,
ассистент

г. Санкт-Петербург
17 ноября 2025 г.

1 Цель работы

Цель работы — Разработать и исследовать динамическую модель системы с двумя вращающимися цилиндрами, соединёнными перекрёстными сухожилиями и взаимодействующей с подвижной стеной, реализованной в среде MuJoCo. Проанализировать влияние движения правой стены на кинематику цилиндров и натяжение сухожилий, а также визуализировать траектории движения цилиндров по оси Z.

2 Задание на работу

В рамках работы требуется:

Составить модель движения системы в среде MuJoCo. Написать скрипт для визуализации и работы с моделью на языке Python. Сравнить траектории движений объектов по оси Z. Сделать выводы.

3 Модель системы

В качестве задания и в соответствии с таблицей был взят 1ый вариант: tendon connected 2R planar mechanism.

Модель имеет следующее описание в среде Mujoco:

```
1 <?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
2 <mujoco>
3   <option timestep="1e-4"/>
4   <option gravity="0 0 -9.8"/>
5   <asset>
6     <texture type="skybox" builtin="gradient"
7       rgb1="1 1 1" rgb2="0.5 0.5 0.5"
8       width="256" height="256"/>
9     <texture name="grid" type="2d" builtin="checker"
10      rgb1="0.1 0.1 0.1" rgb2="0.6 0.6 0.6"
11      width="300" height="300"/>
12     <material name="grid" texture="grid"
13       texrepeat="10 10" reflectance="0.2"/>
14   </asset>
15
16   <worldbody>
17     <light pos="0 0 10"/>
18     <geom type="plane" size="0.5 0.5 0.1" material="grid"/>
19     <camera name="side" pos="0.5 -1.5 1.0" euler="90 0 0" fovy="60"/>
20
21     <body name="WallL" pos="-0.5 0 0.5">
22       <geom type="box" size="0.01 0.01 0.2" rgba="0.5 0.5 0.5 1"/>
23       <site name="sWallLD" size="0.01" pos="0 0 -0.02"/>
24       <site name="sWallLU" size="0.01" pos="0 0 0.02"/>
25
26       <!-- Первый цилиндр -->
27       <body name="Cylinder1" pos="0.2 0 0">
28         <!-- Вращение ТОЛЬКО вокруг оси Z -->
29         <joint name="Hinge1" type="hinge" axis="0 1 0" range="-90 90"
30           damping="0.2"/>
31
32         <geom type="cylinder" size="0.02 0.1"
33           pos="0 -0.1 0"
34           rgba="0.2 0.5 0.8 0.8"/>
```

```

34         euler="90 0 0"/>
35
36         <site name="sC1_up"    size="0.01" pos="0 -0.2 0.02"/>
37         <site name="sC1_down" size="0.01" pos="0 -0.2 -0.02"/>
38
39         <!-- Второй цилиндр -->
40         <body name="Cylinder2" pos="0.4 0 0" >
41             <joint name="Hinge2" type="hinge" axis="0 1 0" range="
-90 90" damping="0.2"/>
42
43             <geom type="cylinder" size="0.02 0.1"
44                 pos="0 -0.1 0"
45                 rgba="0.8 0.3 0.2 0.8"
46                 euler="90 0 0"/>
47
48             <site name="sC2_up"    size="0.01" pos="0 -0.2 0.02"/>
49             <site name="sC2_down" size="0.01" pos="0 -0.2 -0.02"/>
50
51
52         </body>
53     </body>
54 </body>
55
56     <body name="WallR" pos="0.5 0 0.5">
57         <joint name="WallR_slide" type="slide" axis="0 0 1" limited="
true" range="0.4 0.6"/>
58         <geom type="box" size="0.01 0.01 0.2" rgba="0.5 0.5 0.5 1"/>
59         <site name="sWallRD" size="0.01" pos="0 0 -0.02"/>
60         <site name="sWallRU" size="0.01" pos="0 0 0.02"/>
61     </body>
62
63 </worldbody>
64
65 <equality>
66     <connect site1="sC2_down" site2="sWallRD"/>
67     <connect site1="sC2_up" site2="sWallRU"/>
68 </equality>
69 <tendon>
70     <spatial name="tendon1" width="0.005" stiffness="800" damping="20">
71         <site site="sWallLU"/>
72         <site site="sC1_up"/>
73         <site site="sC2_down"/>
74         <site site="sWallRD"/>
75     </spatial>
76
77     <spatial name="tendon2" width="0.005" stiffness="800" damping="20">
78         <site site="sWallRU"/>
79         <site site="sC2_up"/>
80         <site site="sC1_down"/>
81         <site site="sWallLD"/>
82     </spatial>
83 </tendon>
84 <actuator>
85
86     <motor name="WallR_motor" joint="WallR_slide" ctrllimited="true"
ctrlrange="-3000 3000"/>
87 </actuator>
88
89 </mujoco>

```

Визуализация модели выглядит следующим образом:

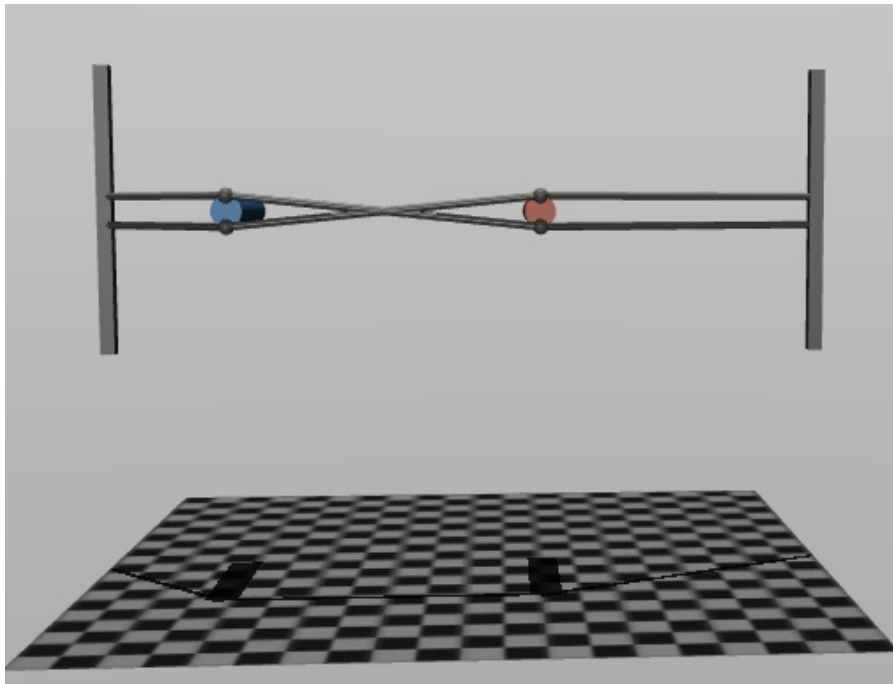


Рис. 1: Визуализация модели в среде Муджосо

4 Скрипт для работы с моделью на Python

```

1 import mujoco
2 import mujoco.viewer
3 import numpy as np
4 import matplotlib.pyplot as plt
5
6 xml_path = "tendon_2R2.xml"
7
8 model = mujoco.MjModel.from_xml_path(xml_path)
9 data = mujoco.MjData(model)
10
11 wall_motor_id = model.actuator('WallR_motor').id
12
13 site_wall_id = model.site('sWallRD').id
14 site_cyl1_id = model.site('sC1_up').id
15 site_cyl2_id = model.site('sC2_up').id
16
17 dt = 0.001
18 steps = 2000
19
20 z_wall = []
21 z_cyl1 = []
22 z_cyl2 = []
23
24 for i in range(steps):
25
26     data.ctrl[wall_motor_id] = 2000 * np.sin(i * 0.01)
27
28     mujoco.mj_step(model, data)
29
30     z_wall.append(data.site_xpos[site_wall_id, 2])
31     z_cyl1.append(data.site_xpos[site_cyl1_id, 2])
32     z_cyl2.append(data.site_xpos[site_cyl2_id, 2])
33

```

```

34 time = np.arange(steps) * dt
35
36 plt.figure(figsize=(8,5))
37 plt.plot(time, z_wall, label='WallR Z')
38 plt.plot(time, z_cyl1, label='Cylinder1 Z')
39 plt.plot(time, z_cyl2, label='Cylinder2 Z')
40 plt.xlabel('Time [s]')
41 plt.ylabel('Z position [m]')
42 plt.title('Z-axis movement of WallR and Cylinders')
43 plt.legend()
44 plt.grid(True)
45 plt.show()

```

Для решения задачи был взят пример преподавателя и адаптирован под описанный выше случай.

После выполнения программы был получен следующий результат:

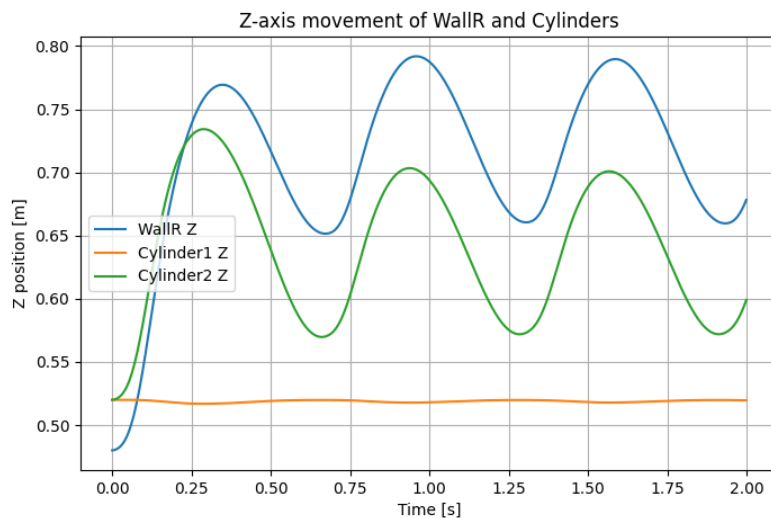


Рис. 2: Результат моделирования

Из графика видно, как движение правой стены влияет на вертикальные положения цилиндров через систему сухожилий: при смещении стены по оси Z цилиндры демонстрируют согласованное движение, следуя изменениям натяжения сухожилий.

График позволяет визуальнo оценить кинематическую реакцию системы, динамическое взаимодействие цилиндров с сухожилиями и эффективность передачи движения через механическую цепочку.

5 Вывод

В ходе работы была разработана и реализована модель механической системы с двумя цилиндрами, соединёнными перекрёстными сухожилиями, и подвижной правой стеной. Использование модели в среде MuJoCo позволило смоделировать кинематическую цепочку и исследовать взаимодействие компонентов при управлении положением стены.

Симуляция показала, что движение правой стены по оси Z эффективно передаётся на цилиндры через сухожилия, при этом цилиндры движутся согласованно и остаются ограниченными в заданной плоскости вращения. Графический анализ положения цилиндров по оси Z подтвердил корректность работы модели и её способность отражать динамику системы с мягкими ограничениями сухожилий.

Реализация в Python с использованием MuJoCo, визуализации и построения графиков позволяет не только наблюдать поведение системы в реальном времени, но и количественно оценивать характеристики движения для дальнейшего анализа и оптимизации.