

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

**ОТЧЕТ
ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3**

**по дисциплине «Имитационное моделирование робототехнических
систем»**

Выполнил:

студент групп № R4134с

Фомин В.М.

Проверил:

преподаватель

Ракшин Е.А.

Санкт-Петербург, 2025

Задание

1. Table parameters:

R1, m	R2, m	a, m	b, m	c, m
0.011	0.029	0.083	0.068	0.033

2. Choose one of the passive mechanisms according to your list and model.xml files.

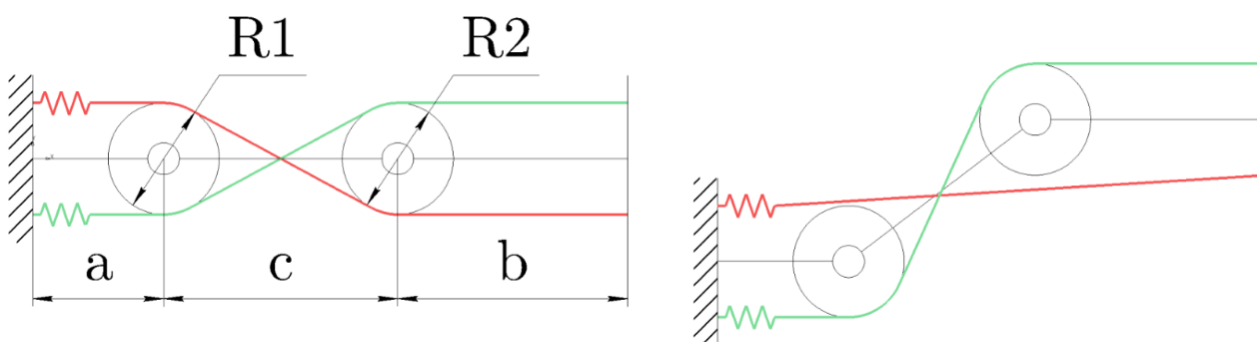


Рис. 1: Двухзвенный плоский механизм с сухожильным приводом

3. Write python script with model, data and viewer methods. Run the simulation.
4. Examples of xml models are in the "Examples" folder.

Ход работы

1. Был произведен анализ предложенной схемы:

- Механизм содержит два вращательных звена (R1 и R2)
- Имеет три линейных сегмента/звена: a, b, c
- Образует замкнутую кинематическую цепь
- Наличие двух вращательных пар предполагает возможность сложного траекторного движения
- Замкнутая цепь обеспечивает повышенную жесткость системы
- Конфигурация характерна для параллельных механизмов или систем с сухожильным приводом

- Механизм является плоским (планарным)
- Звенья а, b, с образуют треугольную структуру

2. Программная реализация RR-механизма в соответствии с заданными значениями посредством MuJoCo представлена ниже.

```

1 import mujoco
2 import mujoco_viewer
3 import numpy as np
4 import os
5
6 # XML
7 model_xml = """
8 <mujoco model="tendon">
9   <option gravity="0 -9.81 0" integrator="Euler"/>
10  <statistic center="0 0 0" extent="0.2"/>
11
12  <visual>
13    <rgba haze="0.9 0.9 0.95 1"/>
14  </visual>
15
16  <default>
17    <joint axis="0 1 0" damping="0.00005"/>
18    <geom type="capsule"/>
19  </default>
20
21  <asset>
22    <texture name="texplane" type="2d" builtin="checker"
23      rgb1="0.2 0.2 0.2" rgb2="0.2 0.2 0.2"
24      width="512" height="512" mark="none"/>
25    <material name="matplane" reflectance="0"
26      texture="texplane" texrepeat="1 1" texuniform="
27      true"/>
28  </asset>
29
30  <worldbody>
31    <light pos="0 0 0.25"/>
32    <light pos="0 0 3" dir="0 0 -1" directional="false"
33      />
34    <geom name="floor" pos="0 0 -0.14" size="0 0 1"
35      type="plane" material="matplane" conaffinity="15
36      " condim="3"/>

```

```

34
35 <body pos="0 0 0">
36   <geom name="left bound" type="box"
37     size="0.002 0.03 0.03"
38     rgba="0.3 0.5 1 1" pos="0 0 0"/>
39   <geom fromto="0 0 0 0.083 0 0"
40     rgba="0.8 0.8 0.3 0.6" size="0.002"
41     ctype="0" conaffinity="0"/>
42   <site name="s1" pos="0.002 0 0.011" size="0.002"
43     rgba="1 1 0 1"/>
44   <site name="s2" pos="0.002 0 -0.011" size="0.002
45     " rgba="1 1 0 1"/>
46
47   <body pos="0.083 0 0">
48     <joint name="elbow"/>
49     <geom fromto="0 0 0 0.068 0 0"
50       rgba="0.8 0.8 0.3 0.6" size="0.002"/>
51     <body name="bullet_body" pos="0 0 0">
52       <joint name="bullet_hinge" type="hinge"
53         axis="0 1 0" stiffness="5" damping="
54         0.005"/>
55       <geom name="Pulley" type="cylinder"
56         fromto="0 0.005 0 0 -0.005 0"
57         size="0.011"
58         rgba="0.3 0.3 0.9 0.9"/>
59       <site name="s3" pos="0 0 0.011" size="
60         0.002" rgba="1 1 0 1"/>
61       <site name="s4" pos="0 0 -0.011" size="
62         0.002" rgba="1 1 0 1"/>
63     </body>
64
65   <body pos="0.068 0 0">
66     <joint name="wrist"/>
67     <geom fromto="0 0 0 0.033 0 0"
68       rgba="0.8 0.3 0.6 1" size="0.002"/>
69     <body name="pulley2_body" pos="0 0 0">
70       <joint name="pulley2_hinge" type="
71         hinge"
72         axis="0 1 0" stiffness="5"
73         damping="0.005"/>
74       <geom name="Pulley2" type="cylinder"

```

```

68         fromto="0 0.005 0 0 -0.005 0"
69         size="0.029"
70         rgba="0.3 0.3 0.9 0.9"/>
71     <site name="s5" pos="0 0 0.029" size
72         ="0.002" rgba="1 1 0 1"/>
73     <site name="s6" pos="0 0 -0.029"
74         size="0.002" rgba="1 1 0 1"/>
75     <site name="s7" pos="0.033 0 0.029"
76         size="0.002" rgba="1 1 0 1"/>
77     <site name="s8" pos="0.033 0 -0.029"
78         size="0.002" rgba="1 1 0 1"/>
79
80     </body>
81
82     <body>
83         <geom name="right bound" type="box"
84             size="0.002 0.03 0.03"
85             rgba="0.3 0.5 1 1"
86             pos="0.033 0 0"/>
87     </body>
88 </body>
89 </worldbody>
90
91 <tendon>
92     <spatial stiffness="5" rgba="0.4 0.2 1 1" width="
93         0.0015">
94         <site site="s1"/>
95         <geom geom="Pulley" sidesite="s3"/>
96         <site site="s3"/>
97         <geom geom="Pulley2" sidesite="s6"/>
98         <site site="s8"/>
99     </spatial>
100
101     <spatial stiffness="5" rgba="0 0.85 0.7 1" width="
102         0.0015">
103         <site site="s2"/>
104         <geom geom="Pulley" sidesite="s4"/>
105         <site site="s4"/>
106         <geom geom="Pulley2" sidesite="s5"/>
107         <site site="s7"/>

```

```

103         </spatial>
104     </tendon>
105 </mujoco>
106 """
107
108 #
109 with open('tendon_mechanism.xml', 'w') as f:
110     f.write(model_xml)
111
112 #
113 model = mujoco.MjModel.from_xml_path('tendon_mechanism.xml')
114 data = mujoco.MjData(model)
115
116 #             viewer
117 viewer = mujoco_viewer.MujocoViewer(model, data)
118
119 #
120 try:
121     while viewer.is_alive:
122         #
123         mujoco.mj_step(model, data)
124         viewer.render()
125
126 finally:
127     viewer.close()
128     #
129     if os.path.exists('tendon_mechanism.xml'):
130         os.remove('tendon_mechanism.xml')

```

3. Результаты работы данной программы изображены на рисунке 2:

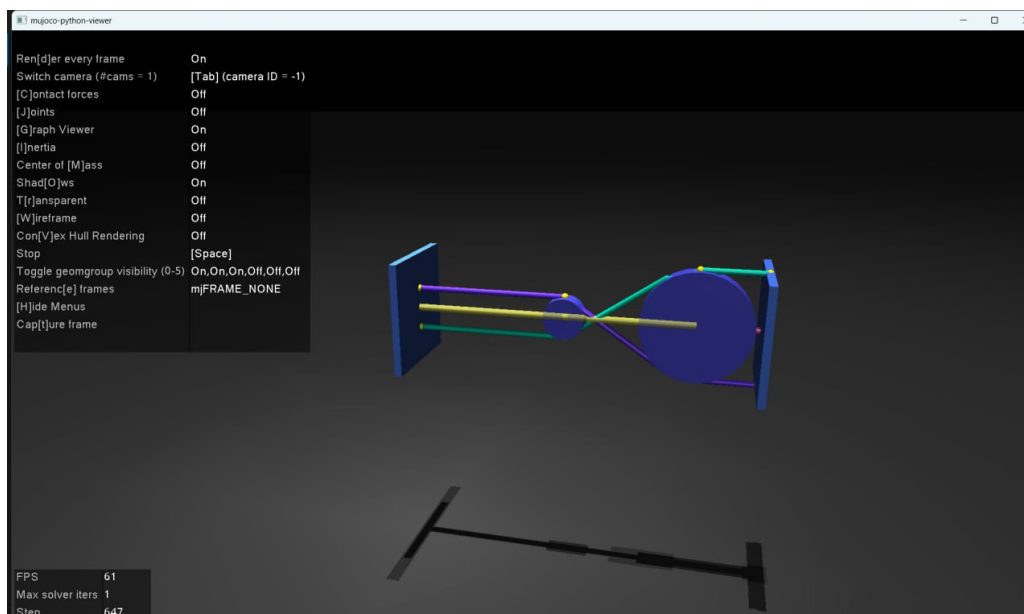


Рис. 2: Начальная конфигурация RR-механизма

Изменим конфигурацию(наклоним механизм) и изобразим результат на рисунке 3:

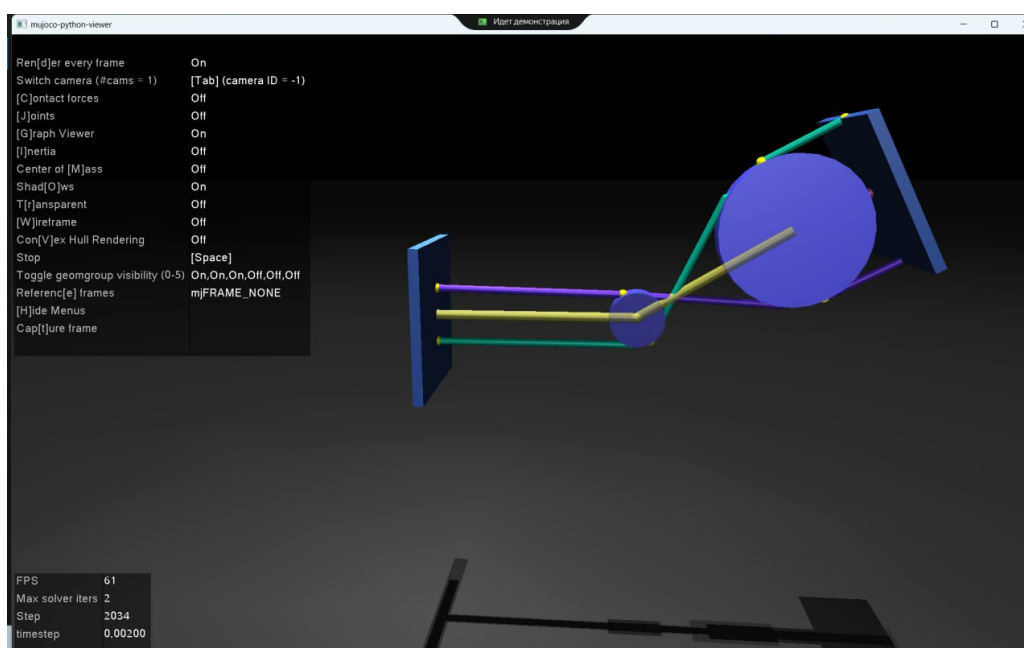


Рис. 3: Механизм в произвольном положении

Вывод

В ходе выполнения лабораторной работы был успешно разработан и реализован сухожильный механизм с использованием физического движка MuJoCo.

Работа включает:

1. **Создание геометрической модели** — разработана XML-модель механизма, содержащая два шкива и систему сухожилий, с учетом заданных геометрических параметров. В процессе моделирования была выявлена и устранена геометрическая несоответствие путем корректировки радиуса первого шкива.
2. **Реализация кинематических связей** — определены вращательные сочленения (hinge joints) для шкивов с заданными параметрами жесткости и демпфирования, что обеспечило естественное движение механизма.
3. **Программная реализация симуляции** — разработан Python-скрипт для запуска и визуализации модели в реальном времени с использованием `mujoco.viewer`, обеспечивающий интерактивное наблюдение за поведением системы.