

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

**ОТЧЕТ
О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3**

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

Выполнил:

студент групп № R4136с

Тихонов В.С.

Проверил:

преподаватель

Ракшин Е.А.

Санкт-Петербург, 2025

Введение

Имитационное моделирование робототехнических систем представляет собой важный инструмент для анализа и проектирования сложных механизмов, позволяющий исследовать их поведение в виртуальной среде до физической реализации. Одной из ключевых задач в робототехнике является моделирование кинематических цепей, особенно замкнутых механизмов, которые широко применяются в различных областях — от промышленных манипуляторов до бионических протезов и шагающих роботов.

Замкнутые кинематические цепи обладают рядом преимуществ, включая повышенную жесткость, точность позиционирования и лучшую нагрузочную способность по сравнению с разомкнутыми системами. Однако их анализ и моделирование сопряжены с дополнительными сложностями, связанными с наличием избыточных связей и необходимостью учета условий замыкания цепи.

В данной работе рассматривается механизм замкнутой цепи колена робота Оптимуса, который представляет собой пространственную систему с комбинацией вращательных и поступательных кинематических пар. Использование такого механизма позволяет обеспечить требуемую траекторию движения при одновременном распределении нагрузок между несколькими звеньями.

Целью работы является разработка имитационной модели заданного механизма с использованием библиотеки MuJoCo (Multi-Joint dynamics with Contact), которая является мощным инструментом для моделирования динамики многозвенных систем.

Задание

1. Найти в таблице свои параметры:

L1, m	L2, m	L3, m	L4, m	L5, m
0.047	0.0611	0.0705	0.047	0.235

2. Выбрать один из пассивных механизмов согласно своему списку и смоделировать .xml файлы.

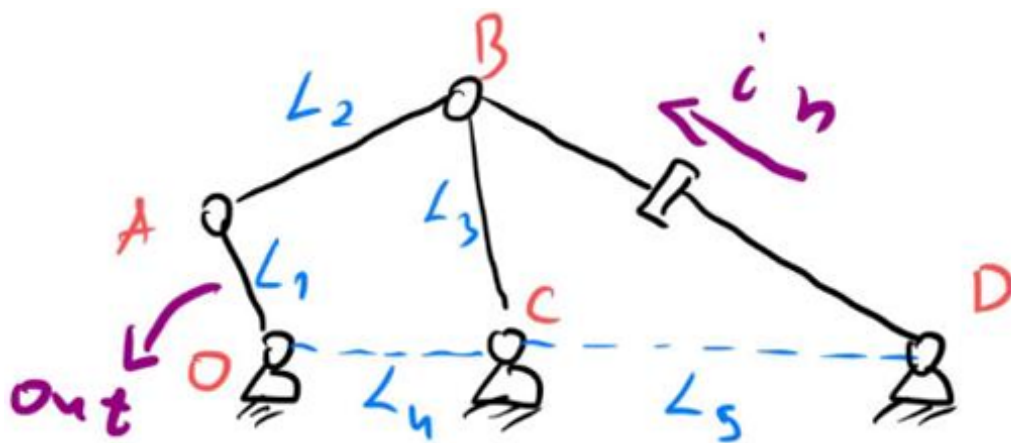


Рис. 1: Механизм замкнутой цепи колена Оптимуса

3. Написать Python скрипт с методами модели, данных и просмотра. Запустить симуляцию.
4. Примеры .xml моделей находятся в папке "Examples".

Ход работы

1. Был произведен анализ предложенной схемы, вследствие чего было разделено на три жлементарных механизма: двузвенник, однозвенник, слайдер , результаты приведены на рис. 2.

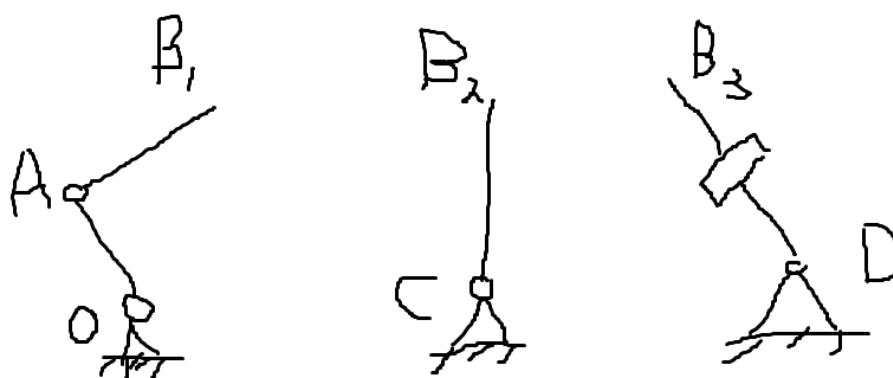


Рис. 2: Исходная конфигурация разомкнутой схемы механизма

2. Программная реализация тел в соответствии с заданными исходными размерами посредством MuJoCo представлена ниже. Для тела DFB3 использовано сочленение типа «slide».

```

1 import mujoco
2 import mujoco_viewer
3 import numpy as np
4 import os
5
6 # XML
7
8 model_xml = """
9 <?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
10 <mujoco>
11
12     <option timestep="1e-3"/>
13     <option gravity="0 0 -9.8"/>
14
15     <asset>
16         <texture type="skybox" builtin="gradient" rgb1="1 1
17             1" rgb2="0.5 0.5 0.5" width="265" height="256"/>
18         <texture name="grid" type="2d" builtin="checker"
19             rgb1="0.1 0.1 0.1" rgb2="0.6 0.6 0.6" width="300"
20             height="300"/>
21         <material name="grid" texture="grid" texrepeat="10
22             10" reflectance="0.2"/>
23     </asset>
24
25     <worldbody>
26
27         <light pos="0 0 10"/>
28         <geom type="plane" size="0.5 0.5 0.1" material="grid"/>
29
30         <body name="OAB1" pos="0 0 1.5" euler="0 0 0">
31
32             <joint name="0" type="hinge" axis="0 -1 0" stiffness
33                 ="0" springref="0" damping="0"/>
34             <geom name="point 0" type="cylinder" pos="0 0 0"
35                 size="0.005 0.005" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5"
36                 euler="0 0 0" ctype="0"/>
37             <geom name="link 0A" type="cylinder" pos="0 0 0.0235
38                 " size="0.005 0.0235" rgba="0.21 0.32 0.82 0.5"
39                 euler="0 0 0" ctype="0"/>
40
41         <body name="AB1" pos="0 0 0.047" euler="0 0 0">

```

```

32
33     <joint name="A" type="hinge" axis="0 -1 0"
34         stiffness="0" springref="0" damping="0.1"/>
35     <geom name="point B" type="cylinder" pos="0 0 0"
36         size="0.005 0.005" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5"
37         euler="0 0 0" contype="0"/>
38     <geom name="link AB1" type="cylinder" pos="0 0
39         0.03055" size="0.005 0.03055" rgba="0.21 0.32
40         0.82 0.5" euler="0 0 0" contype="0"/>
41     <site name="sC1" size="0.005" pos="0 0 0.0611"/>
42
43 </body>
44
45 </body>
46
47 <body name="CB2" pos="0.047 0 1.5" euler="0 0 0">
48
49     <joint name="C" type="hinge" axis="0 -1 0" stiffness
50         ="0" springref="0" damping="0.1"/>
51     <geom name="point C" type="cylinder" pos="0 0 0"
52         size="0.005 0.005" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5"
53         euler="0 0 0" contype="0"/>
54     <geom name="link CB2" type="cylinder" pos="0 0
55         0.03525" size="0.005 0.03525" rgba="0.21 0.32
56         0.82 0.5" euler="0 0 0" contype="0"/>
57     <site name="sC2" size="0.005" pos="0 0 0.0705"/>
58
59 </body>
60
61 <body name="DFB3" pos="0.282 0 1.5" euler="0 0 0">
62
63     <joint name="D" type="hinge" axis="0 -1 0" stiffness
64         ="0" springref="0" damping="0"/>
65     <geom name="point D" type="cylinder" pos="0 0 0"
66         size="0.005 0.005" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5"
67         euler="0 0 0" contype="0"/>
68     <geom name="link DB3" type="cylinder" pos="0 0
69         0.0235" size="0.005 0.0235" rgba="0.21 0.32 0.82
70         0.5" euler="0 0 0" contype="0"/>
71
72 <body name="FB3" pos="0 0 0.0235" euler="0 0 0">

```

```

58
59         <joint name="slider" type="slide" axis="0 0 1"
        limited="true" range="-0.2 0.2" stiffness="0"
        springref="0" damping="0"/>
60     <geom name="point B3" type="cylinder" pos="0 0 0
        " size="0.005 0.005" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5
        " euler="0 0 0" contype="0"/>
61     <geom name="link FB3" type="cylinder" pos="0 0
        0.1175" size="0.005 0.1175" rgba="0.21 0.32
        0.82 0.5" euler="0 0 0" contype="0"/>
62     <site name="sC3" size="0.005" pos="0 0 0.235"/>
63
64     </body>
65
66 </body>
67
68 </worldbody>
69
70 <actuator>
71     <motor name="motor_0" joint="0" gear="1"/>
72     <motor name="motor_A" joint="A" gear="1"/>
73     <motor name="motor_C" joint="C" gear="1"/>
74     <motor name="motor_slider" joint="slider" gear="1"/>
75 </actuator>
76
77 <equality>
78     <connect site1="sC1" site2="sC2"/>
79     <connect site1="sC1" site2="sC3"/>
80 </equality>
81
82 </mujoco>
83 """
84
85 #
86
87 with open('knee_mechanism.xml', 'w') as f:
88     f.write(model_xml)
89
90 #
91 model = mujoco.MjModel.from_xml_path('knee_mechanism.xml')
data = mujoco.MjData(model)

```

```

92
93 #                 viewer                               GUI
94 viewer = mujoco_viewer.MujocoViewer(model, data)
95
96 #
97 data.qpos[0] = 0.3 #
98                 0
99
100 #
101
102 time_counter = 0
103
104 #
105
106 try:
107     while viewer.is_alive:
108         # #
109
110         # time_counter += 1
111         # data.ctrl[0] = 0.05 * np.sin(0.02 * time_counter)
112         #                                     0
113
114         # #
115
116         # if np.random.random() < 0.02:
117         #     data.ctrl[1] = np.random.uniform(-0.02, 0.02)
118         #                                     A
119         # if np.random.random() < 0.02:
120         #     data.ctrl[2] = np.random.uniform(-0.02, 0.02)
121         #                                     C
122
123         #
124         mujoco.mj_step(model, data)
125
126         #
127         viewer.render()
128
129 finally:
130     viewer.close()

```

```

123     #
124     if os.path.exists('knee_mechanism.xml'):
125         os.remove('knee_mechanism.xml')

```

3. Результаты работы программы представлены на рисунках ниже.

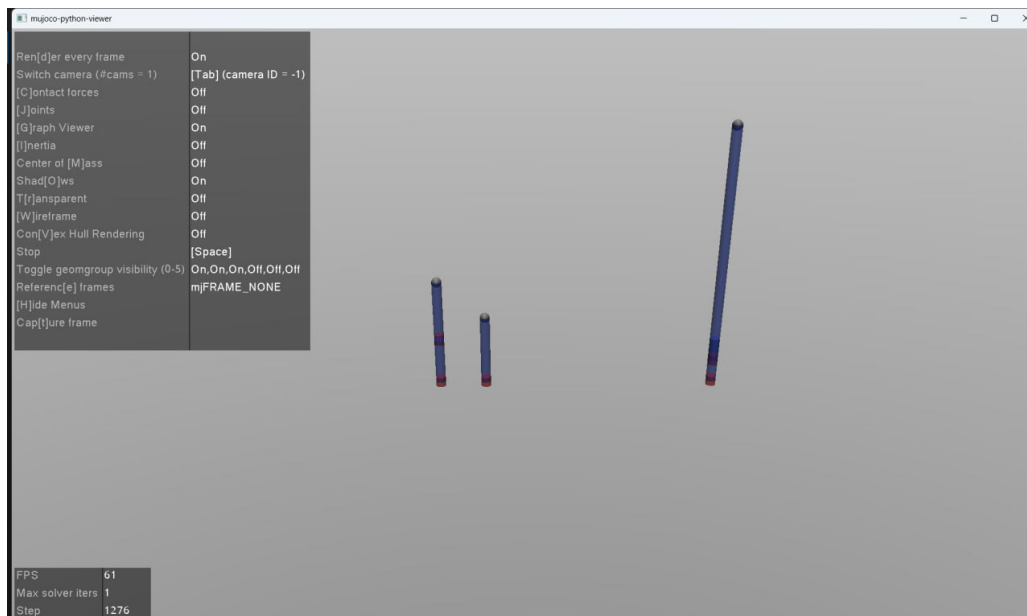


Рис. 3: Конфигурация разомкнутого механизма

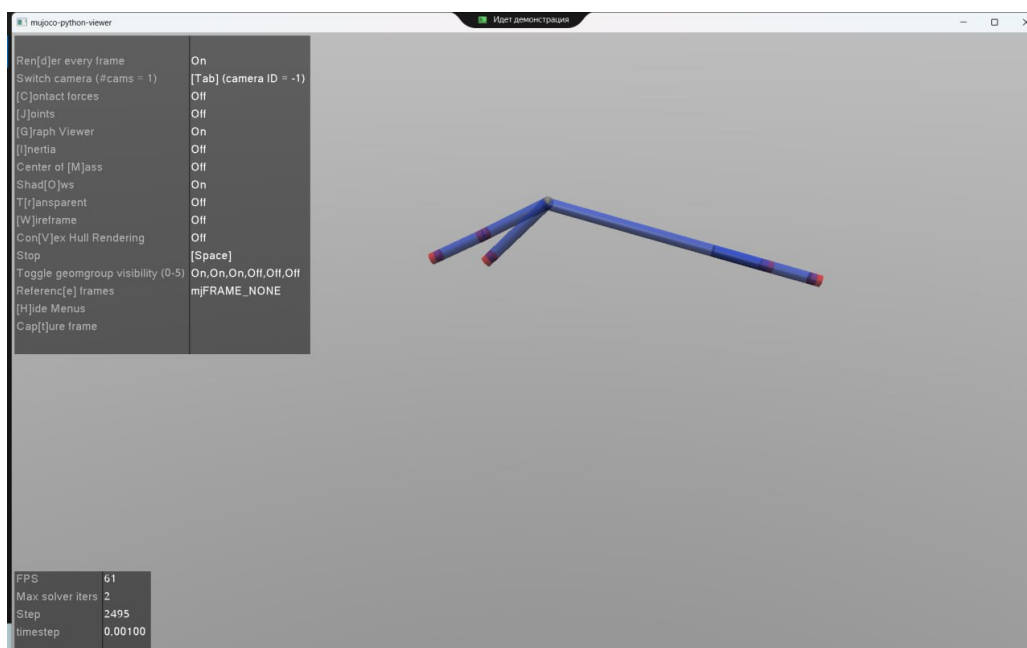


Рис. 4: Конфигурация замкнутого механизма

Вывод

В результате выполнения практической работы №3 был успешно реализован имитационный механизм замкнутой кинематической цепи колена робота Оптимуса с использованием библиотеки MuJoCo. Проведен анализ исходной кинематической схемы, построена конфигурация механизма, что позволило определить взаимосвязи между звеньями и сочленениями. Таким образом, в ходе работы были получены практические навыки моделирования сложных кинематических систем средствами MuJoCo, что составляет основу для дальнейшей работы в области проектирования и анализа робототехнических устройств.