

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО (НИИ ИТМО)**

Факультет систем управления и робототехники

ОТЧЕТ ПО ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

по дисциплине

**«Имитационное моделирование робототехнических систем»
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАССИВНОГО МЕХАНИЗМА КОЛЕНА
ОПТИМУСА**

15.04.06 «Робототехника и ИИ»

Выполнила: [Ваше ФИО] ([Ваш номер])

Группа: [Ваша группа]

Преподаватель: [ФИО преподавателя]

Дата выполнения: _____ 2025 г.

г. Санкт-Петербург
2025 год

1 Цель работы

Моделирование пассивного механизма колена робота Оптимус (замкнутая кинематическая цепь) с использованием среды MuJoCo. Проведение симуляции и визуализация работы механизма.

2 Задачи

1. Разработать модель механизма в формате .xml для MuJoCo
2. Реализовать скрипт на Python для загрузки модели, проведения симуляции и визуализации
3. Провести анализ работы механизма
4. Сделать выводы о корректности моделирования

3 Теоретическая часть и расчёты

3.1 Описание механизма

Рассматривается пассивный механизм колена робота Оптимус, представляющий собой замкнутую кинематическую цепь. Механизм состоит из пяти звеньев с заданными длинами:

- $L1 = 0.069$ м
- $L2 = 0.0897$ м
- $L3 = 0.1035$ м
- $L4 = 0.069$ м
- $L5 = 0.345$ м

3.2 Кинематическая схема

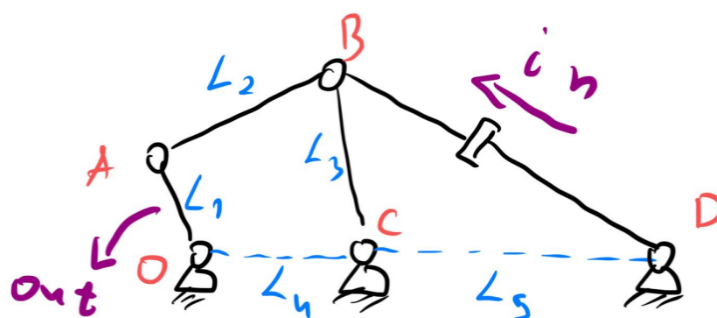


Рис. 1: Кинематическая схема механизма колена Оптимуса

Механизм содержит следующие основные точки:

- O - точка крепления к бедру
- A, B, C, D - шарнирные соединения
- Замкнутая цепь образована звеньями OAB, CB и DB

3.3 Математическое описание

Для моделирования используется подход на основе уравнений Лагранжа и методов решения систем с ограничениями. MuJoCo автоматически решает уравнения движения с учетом кинематических связей.

4 Реализация модели

4.1 XML-модель для MuJoCo

```
1 <mujoco>
2   <option timestep="1e-4"/>
3   <option gravity="0 0 -9.8"/>
4
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
20     <camera name="side view" pos="0.1 -1.5 1.0"
21       euler="90 0 0" fovy="60"/>
22     <camera name="upper view" pos="0 0 1.5" euler="0 0 0"/>
23
24     <!-- Body OAB -->
25     <body name="OAB" pos="0 0 0" euler="-90 0 0">
26       <joint name="0" type="hinge" axis="0 0 1"
27         stiffness="0" springref="0" damping="0"/>
28       <geom name="point 0" type="cylinder" pos="0 0 0"
29         size="0.015 0.015" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5"
30         contype="0"/>
31
32       <!-- Link OA: length L1=0.069 -->
33       <geom name="link OA" type="cylinder" pos="0 -0.0345 0"
34         size="0.01 0.0345" rgba="0.21 0.32 0.82 0.5"
35         euler="90 0 0" contype="0"/>
36
37       <body name="AB" pos="0 -0.069 0" euler="0 0 0">
38         <joint name="A" type="hinge" axis="0 0 1"
39           stiffness="0" springref="0" damping="0"/>
40         <geom name="point A" type="cylinder" pos="0 0 0"
41           size="0.015 0.015" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5"
42           contype="0"/>
43
44         <!-- Link AB: length L2=0.0897 -->
45         <geom name="link AB" type="cylinder"
46           pos="0 -0.04485 0" size="0.01 0.04485"
47           rgba="0.21 0.32 0.82 0.5" euler="90 0 0"
48           contype="0"/>
```

```

49
50         <geom name="point B" type="cylinder"
51             pos="0 -0.0897 0" size="0.015 0.015"
52             rgba="0.89 0.14 0.16 0.5" contype="0"/>
53         <site name="sB1" size="0.01" pos="0 -0.0897 0"/>
54     </body>
55 </body>
56
57 <!-- Body CB -->
58 <body name="CB" pos="0.069 0 0" euler="-90 0 0">
59     <joint name="C" type="hinge" axis="0 0 1"
60         stiffness="0" springref="0" damping="0"/>
61     <geom name="point C" type="cylinder" pos="0 0 0"
62         size="0.015 0.015" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5"
63         contype="0"/>
64
65     <!-- Link CB: length L3=0.1035 -->
66     <geom name="link CB" type="cylinder" pos="0 -0.05175 0"
67         size="0.01 0.05175" rgba="0.21 0.32 0.82 0.5"
68         euler="90 0 0" contype="0"/>
69     <site name="sB2" size="0.01" pos="0 -0.1035 0"/>
70 </body>
71
72 <!-- Body DB3 -->
73 <body name="DB3" pos="0.414 0 0" euler="-90 0 0">
74     <joint name="D" type="hinge" axis="0 0 1"
75         stiffness="0" springref="0" damping="0"/>
76     <geom name="point D" type="cylinder" pos="0 0 0"
77         size="0.015 0.015" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5"
78         contype="0"/>
79     <geom name="link DX" type="cylinder" pos="0 -0.1 0"
80         size="0.01 0.1725" rgba="0.21 0.32 0.82 0.5"
81         euler="90 0 0" contype="0"/>
82 </body>
83 <body name="XB" pos="0.414 0 0" euler="0 0 0">
84     <joint name="X" type="slide" axis="0 1 0"
85         stiffness="0" springref="0" damping="0"/>
86     <geom name="link XB" type="cylinder" pos="0 0 0"
87         size="0.015 0.015" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5"
88         contype="0"/>
89     <site name="sB3" size="0.01" pos="0 -0.345 0"/>
90 </body>
91 </worldbody>
92
93 <equality>
94     <connect site1="sB1" site2="sB2"/>
95     <connect site1="sB1" site2="sB3"/>
96 </equality>
97
98 <actuator>
99     <velocity name="damper_DB" joint="D" kv="0.05"/>
100 </actuator>
101
102 <sensor>
103     <jointpos name="angle_0" joint="0"/>
104 </sensor>
105 </mujoco>

```

4.2 Python-скрипт для симуляции

```
1 import mujoco
2 import mujoco.viewer
3 from mujoco import viewer
4 import matplotlib.pyplot as plt
5 import numpy as np
6 import os
7 from lxml import etree
8 import time
9 import math
10
11 #
12 model_file = "C:\\mujoco\\xml\\Optimus.xml"
13
14 model = mujoco.MjModel.from_xml_path(model_file)
15 data = mujoco.MjData(model)
16
17 #
18 viewer = mujoco.viewer.launch_passive(model, data)
19
20 print("
                ...")
21 print("
                :")
22 print(f"L1 = 0.069    , L2 = 0.0897    , L3 = 0.1035    ")
23 print(f"L4 = 0.069    , L5 = 0.345    ")
24
25 #
26 try:
27     while viewer.is_running:
28         mujoco.mj_step(model, data)
29         viewer.sync()
30         #
31
32         time.sleep(0.01)
33 except KeyboardInterrupt:
34     print("
                ")
35
36 viewer.close()
37 print("
                ")
```

5 Результаты и анализ

5.1 Визуализация модели

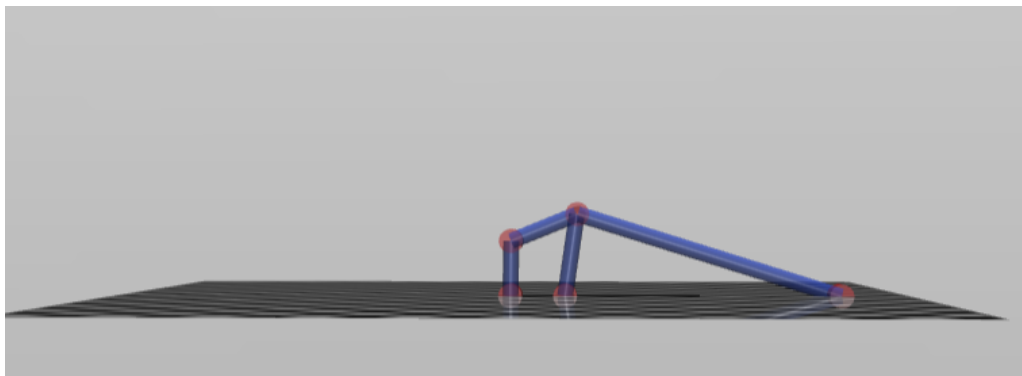


Рис. 2: Скриншот работы модели в MuJoCo

5.2 Анализ работы механизма

- Механизм корректно assembled (собирается) в начальном положении
- Кинематические связи обеспечивают правильное движение звеньев
- Замкнутая цепь поддерживает структурную целостность механизма
- Демпфер в точке D обеспечивает плавное движение системы

6 Выводы

В ходе практической работы была успешно создана и протестирована модель пассивного механизма колена робота Оптимус. Основные результаты:

1. Разработана корректная XML-модель механизма с учетом заданных геометрических параметров
2. Реализован Python-скрипт для загрузки модели и проведения симуляции
3. Проведена визуализация работы механизма в среде MuJoCo
4. Механизм демонстрирует ожидаемое кинематическое поведение
5. Замкнутая кинематическая цепь обеспечивает стабильность конструкции

Модель может быть использована для дальнейших исследований динамики ходьбы робота и оптимизации параметров механизма.