

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»

по теме:
«Построение имитационной модели в среде MuJoCo»

Студент:
Группа № R4136c

Носов А.С.

Предподаватель:
Ассистент СУиР

Ракшин Е.А.

Санкт-Петербург 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ЦЕЛИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	3
1 ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ В СРЕДЕ MIJOSO	4
1.1 Условие задания	4
1.2 XML модель	4
1.3 Изображения полученной модели.....	7
2 МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ	8
2.1 Python код.....	8
2.2 Графики моделирования.....	10
2.3 Анализ графиков	10
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	11

ЦЕЛИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Построение модели сустава в среде MuJoCo.

В работе решаются следующие задачи:

- Построение модели в среде MuJoCo;
- Моделирование, построение графиков

1 ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ В СРЕДЕ MUJOCO

1.1 Условие задания

Система заданная вариантом

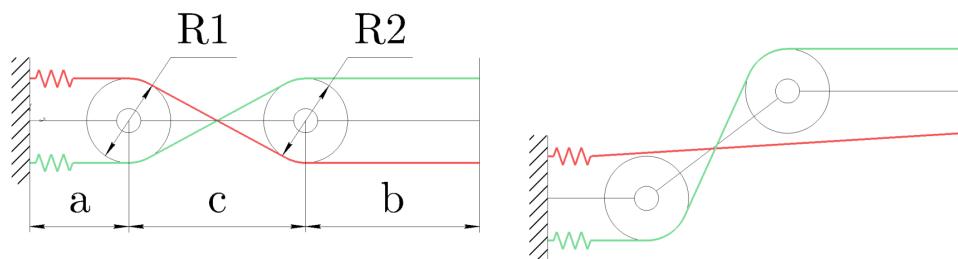


Рисунок 1 — Схема объекта

Параметры варианта:

- $R_1 = 0.05\text{м}$
- $R_2 = 0.033\text{м}$
- $a = 0.031\text{м}$
- $b = 0.091\text{м}$
- $c = 0.074\text{м}$

1.2 XML модель

Листинг 1.1 — Модель MuJoCo в XML

```
<mujoco>
  <default>
    <geom type="capsule" size="0.002"/>
    <site rgba="0 0 0 1"/>
    <joint type="hinge" axis="0 1 0" range="-180 180"/>
  </default>
  <asset>
    <texture type="skybox" builtin="gradient" rgb1="1 1 1" rgb2="0.5 0.5 0.5" width="265" height="256"/>
    <texture name="grid" type="2d" builtin="checker" rgb1="0.1 0.1 0.1" rgb2="0.6 0.6 0.6" width="300" height="300"/>
    <material name="grid" texture="grid" texrepeat="10 10" reflectance="0.2"/>
  </asset>
```

```

<worldbody>
    <camera name="side view" pos="0.0 -1.5 1.0" euler="90 0 0" fovy="60"/>
    <light pos="0 0 1"/>
    <body name="wall_left" pos="0 0 0">
        <geom type="box" size="0.002 0.05 0.05" rgba="0.7 0.7 0.7 1"/>
    </body>
    <!-- A -->
    <body name="link_a" pos="0.002 0 0">
        <geom fromto="0 0 0 0.032 0 0"/>
        <site name="s1" pos="0 0 0.025"/>
        <site name="s2" pos="0 0 -0.025"/>
        <!-- R1 -->
        <body name="r1" pos="0.032 0 0">
            <!-- <joint name="j_p1"/> -->
            <geom name="r1" type="cylinder"
                fromto="0 0.025 0 0 -0.025 0"
                size="0.025" rgba="0 0 1 0.5"/>
            <site name="center_r1" pos="0 0 0" rgba="1 0 0 1"/>
            <site name="s3" pos="0 0 0.025"/>
            <site name="s4" pos="0 0 -0.025"/>
            <!-- C -->
            <body name="link_c" pos="0 0 0">
                <joint name="j_p1"/>
                <geom fromto="0 0 0 0.074 0 0"/>
                <site name="s5" pos="0.04 0 0"/>
                <!-- R2 -->
                <body name="r2" pos="0.074 0 0">
                    <!-- <joint name="j_p2"/> -->
                    <geom name="r2" type="cylinder"
                        fromto="0 0.0165 0 0 -0.0165 0"
                        size="0.0165" rgba="0 0 1 .5"/>
                    <site name="center_r2" pos="0 0 0" rgba="1 0 0 1"/>
                    <site name="s6" pos="0 0 0.0165"/>
                    <site name="s7" pos="0 0 -0.0165"/>
                    <!-- B -->
                    <body name="link_b" pos="0 0 0">
                        <joint name="j_p2"/>
                        <geom fromto="0 0 0 0.091 0 0"/>
                        <site name="s8" pos="0.091 0 0.0165"/>
                        <site name="s9" pos="0.091 0 -0.0165"/>
                <!-- wall right-->

```

```

        <body name="wall_right" pos="0.091 0 0">
            <geom type="box" size="0.002 0.02 0.02" rgba="0.7 0.7 0.7 1"/>
        >
            <site name="end_site" pos="0 0 0" size="0.005" rgba="1 1 0 1"/>
        </body>
        </body>
        </body>
        </body>
        </body>
        </body>
    </worldbody>
    <tendon>
        <spatial name="tendon_1" stiffness="700" width="0.001" rgba="1 0 0 1" springlength="0.2" damping="15">
            <site site="s1"/>
            <!-- <site site="s3"/> -->
            <geom geom="r1" sidesite="s3"/>
            <site site="s5"/>
            <!-- <site site="s7"/> -->
            <geom geom="r2" sidesite="s7"/>
            <site site="s9"/>
        </spatial>
        <spatial name="tendon_2" stiffness="700" width="0.001" rgba="0 1 0 1" springlength="0.2" damping="15">
            <site site="s2"/>
            <!-- <site site="s4"/> -->
            <geom geom="r1" sidesite="s4"/>
            <site site="s5"/>
            <!-- <site site="s6"/> -->
            <geom geom="r2" sidesite="s6"/>
            <site site="s8"/>
        </spatial>
    </tendon>
    <sensor>
        <framepos objtype="site" objname="end_site"/>
    </sensor>
</mujoco>

```

1.3 Изображения полученной модели

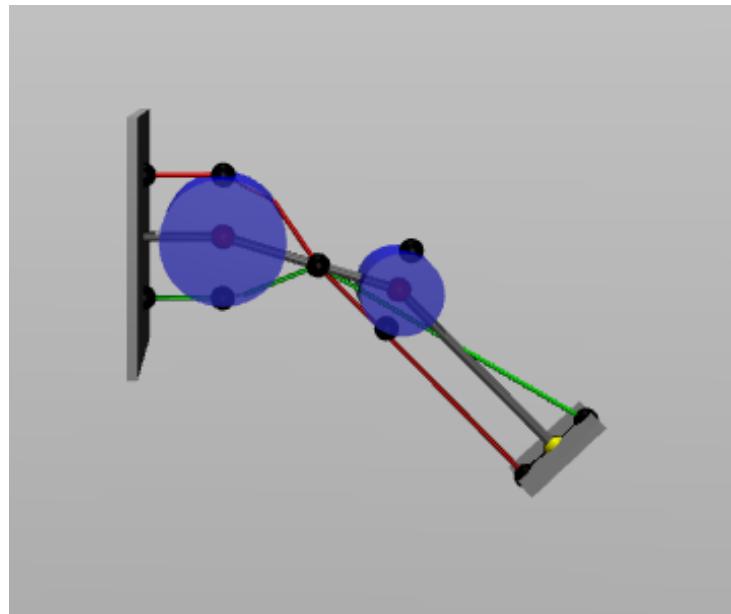


Рисунок 2 — полученная модель изображение 2

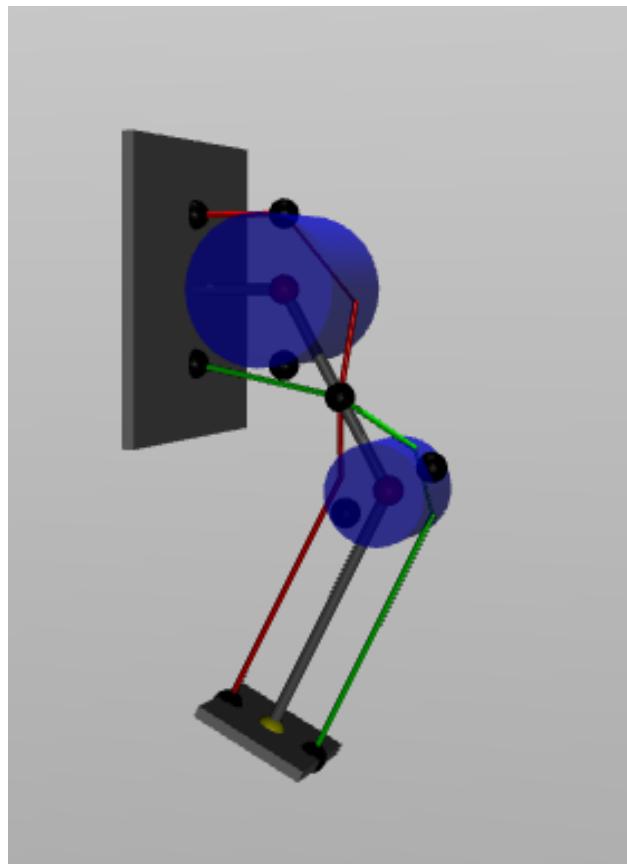


Рисунок 3 — полученная модель изображение 2

2 МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

Был написан python скрипт для запуска симуляции с разными значениями демпфирования и жесткости тросиков.

2.1 Python код

Листинг 2.1 — Скрипт симуляции

```
import mujoco.viewer
import matplotlib.pyplot as plt
import time

model = mujoco.MjModel.from_xml_path('task_3_model.xml')
data = mujoco.MjData(model)

timestamp = 0.001
simul_time = 10.0

num_steps = int(simul_time / timestamp)

def change_stiffness(stiffness):
    tendon_id_1 = mujoco.mj_name2id(model, mujoco.mjtObj.mjOBJ_TENDON, "tendon_1")
    tendon_id_2 = mujoco.mj_name2id(model, mujoco.mjtObj.mjOBJ_TENDON, "tendon_2")
    model.tendon_stiffness[tendon_id_1] = stiffness
    model.tendon_stiffness[tendon_id_2] = stiffness

def change_damping(damping):
    tendon_id_1 = mujoco.mj_name2id(model, mujoco.mjtObj.mjOBJ_TENDON, "tendon_1")
    tendon_id_2 = mujoco.mj_name2id(model, mujoco.mjtObj.mjOBJ_TENDON, "tendon_2")
    model.tendon_damping[tendon_id_1] = damping
    model.tendon_damping[tendon_id_2] = damping

damp_arr = [15, 15, 15, 50, 0.1]
```

```

stiffness_arr = [10, 250, 1000, 250, 250]
colors = ['red', 'green', 'blue', 'orange', 'purple']

plt.figure(figsize=(12, 8))

for i in range(5):
    damp = damp_arr[i]
    stiffness = stiffness_arr[i]
    change_damping(damp)
    change_stiffness(stiffness)
    time_steps = []
    sensor_data = []
    with mujoco.viewer.launch_passive(model, data) as viewer:
        for step in range(num_steps):
            mujoco.mj_step(model, data)
            time.sleep(timestamp)
            sensor_data.append(data.sensordata[2])
            time_steps.append(timestamp * step)
            # print(sensor_data[2])

        viewer.sync()
    plt.plot(time_steps, sensor_data, label=f"damp={damp}; stiff={stiffness}", linewidth=2, color=colors[i])

plt.xlabel('t', fontsize=12)
plt.ylabel('z', fontsize=12)
plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.7)
plt.legend(fontsize=10, loc='best')
plt.tight_layout()

plt.savefig(f'sensor_data_comparison.png', dpi=300, bbox_inches='tight')
plt.show()

```

2.2 Графики моделирования

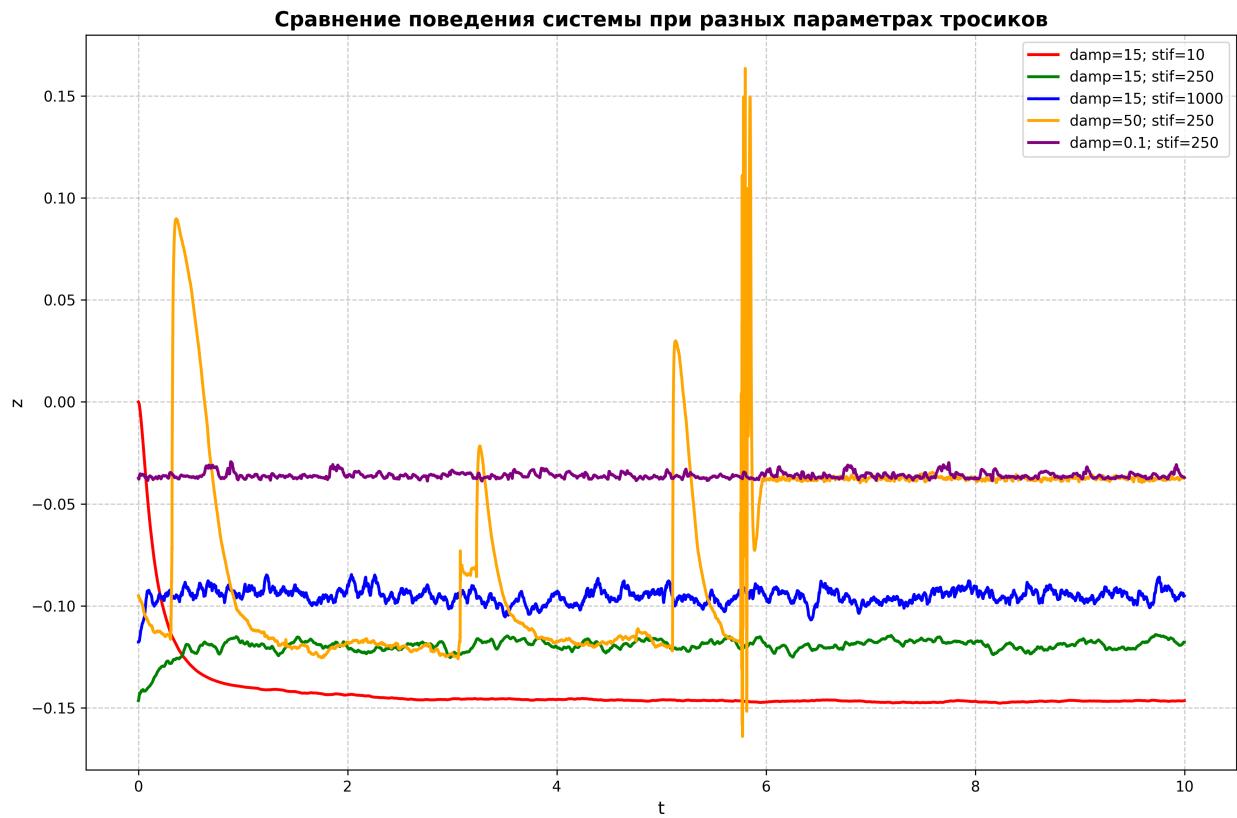


Рисунок 4 — График сравнения координаты Z у точки end_{site} моделируемого объекта при разных значениях демпфирования и жесткости тросиков

2.3 Анализ графиков

Как видно из графиков система более-менее стабилизировалась и меньше всего колебалась при маленьких значениях демпфирования и жесткости. При большом значении демпфирования наблюдалось наиболее нестабильное поведение, и это также видно на графиках.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В ходе практической работы были выполнены следующие задачи:

- Построена имитационная модель сустава в среде MuJoCo;
- Построены гарфики с разными значениями параметров тросиков.