

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет ИТМО»
(Университет ИТМО)
Факультет системы управления и робототехники**

ОТЧЕТ

по дисциплине

«Имитационное моделирование робототехнических систем»

по теме:

Лабораторная работа №4 - Модификация модели в MuJoCo

Студент:

Группа № R4133с

Шумкарбек кызы Нурзада

Преподаватель:

инженер, ассистент

Ракишин Е. А.

Санкт-Петербург 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Основная часть.....	3
Заключение.....	9

Основная часть

Variant 1 - tendon connected 2R planar mechanism:

Даны коэффициенты:

$R1, m = 0.014$

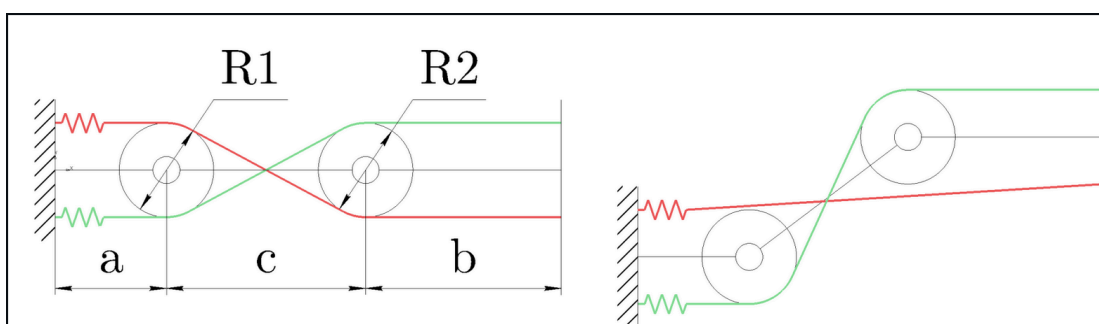
$R2, m = 0.048$

$a, m = 0.062$

$b, m = 0.092$

$c, m = 0.036$

TENDON



Task4:

To the model you have created in the previous task, you need to add actuators. For Optimus mechanism there is one actuator ($q1$), for tendon mechanism there are two actuators ($q1$ and $q2$).

Modify the .xml file by adding `<actuator>` and `<sensor>` containers (look at the examples in the previous task).

Define control effort via PD regulator. The $q d e s = A M P \cdot \sin (F R E Q \cdot t) + B I A S$. Look in the table for sine wave parameters. If the control sequence goes beyond workspace of the mechanism, decrease the amplitude and tune bias only if needed.

Таблица 1. Параметры синусоидальной волны

$q1$			$q2$		
AMP, deg	FREQ, Hz	BIAS, deg	AMP, deg	FREQ, Hz	BIAS, deg
46.26	3.25	-6.2	17.29	3.46	10

Выполнение работы:

1. Из предыдущего задания имеем Model:

```
<mujoco>
<option timestep="1e-4"/>
  <option gravity="0 0 0"/>

  <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>

    <light pos="0 0 10"/>
    <geom type="plane" size="0.5 0.5 0.1" material="grid"/>

    <camera name="side view" pos="0.1 -1.5 1.0" euler="90 0 0" fovy="60"/>
    <camera name="upper view" pos="0 0 1.5" euler="0 0 0"/>

    <body pos="0 0 0.3">
      <joint name="j1" type="hinge" axis="0 1 0"/>
      <geom type="capsule" fromto="0 0 0.2 0 0" size="0.024" mass="0.0001" rgba="0.3 0.5 0.6 1"/>

      <site name="base_ten1" pos="0 0.0 0"/>
      <site name="base_ten2" pos="0 -0.0 0"/>

      <site name="ten1_site1" pos="0.2 0.02 0"/>
      <site name="ten2_site1" pos="0.2 -0.02 0"/>

      <body pos="0.2 0 0">
        <joint name="j2" type="hinge" axis="0 1 0"/>
        <geom type="capsule" fromto="0 0 0.2 0 0" size="0.007" mass="0.0001" rgba="0.7 0.5 0.8 1"/>

        <site name="ten1_site2" pos="0.2 -0.02 0"/>
        <site name="ten2_site2" pos="0.2 0.02 0"/>

        <body pos="0.2 0 0">
          <geom type="sphere" size="0.02" rgba="1 1 0 1"/>
        </body>
      </body>
    </body>
  </worldbody>
```

Рисунок 1 - Конфигурация модели двухзвенного робота

С помощью тенденов создаем кинематические связи между звеньями, обеспечили естественное демпфирование, увеличили стабильность системы.

2. Модель двухзвенного робота дополнена <actuator> for tendon mechanism there are two actuators (q1 and q2):

```
<actuator>
  <motor joint="j1" name="motor1"/>
  <motor joint="j2" name="motor2"/>

  <general tendon="ten1" name="q1" gear="2" ctrllimited="true" ctrlrange="-1 1"/>
  <general tendon="ten2" name="q2" gear="2" ctrllimited="true" ctrlrange="-1 1"/>
</actuator>
```

Рисунок 2 – Модификация модели двухзвенного робота путем введения актуаторов

Модель двухзвенного робота дополнена <sensor> for tendon mechanism(ten1_pos и ten2_pos) :

```
<sensor>
  <jointpos name="j1_pos" joint="j1"/>
  <jointpos name="j2_pos" joint="j2"/>
  <jointvel name="j1_vel" joint="j1"/>
  <jointvel name="j2_vel" joint="j2"/>
  <tendonpos name="ten1_pos" tendon="ten1"/>
  <tendonpos name="ten2_pos" tendon="ten2"/>
  <framepos name="ee_pos" objtype="site" objname="tendon1_site2"/>
</sensor>
```

Рисунок 3 - Модификация модели двухзвенного робота путем введения сенсоров

```
<tendon>
  <spatial name="ten1" width="0.004" rgba="1 0 0 0.8">
    <site site="base_tendon1"/>
    <site site="tendon1_site1"/>
    <site site="tendon1_site2"/>
  </spatial>

  <spatial name="ten2" width="0.004" rgba="0 1 0 0.8">
    <site site="base_tendon2"/>
    <site site="ten2_site1"/>
    <site site="ten2_site2"/>
  </spatial>
</tendon>
</mujoco>
```

Рисунок 4 - Модификация модели двухзвенного робота путем введения ТЕНДОНОВ

3. Определим управляющее усилие через ПД-регулятор.

Формула $q_des = AMP \cdot \sin(FREQ \cdot t) + BIAS$.

Загружаем модель, задаем параметры из Таблицы 1. Переводим градусы в радианы. Эмпирическим путем находим коэффициенты ПД-регуляторы, удовлетворяющие стабильности системы.

```
model = mujoco.MjModel.from_xml_path(f2)
data = mujoco.MjData(model)

AMP_q1 = np.deg2rad(46.26)
FREQ_q1 = 3.25
BIAS_q1 = np.deg2rad(-6.2)

AMP_q2 = np.deg2rad(17.29)
FREQ_q2 = 3.46
BIAS_q2 = np.deg2rad(10)

KP = 10.0
KD = 1.0

SIMEND = 10
TIMESTEP = 0.001
STEP_NUM = int(SIMEND / TIMESTEP)

EE_position_x = []
EE_position_z = []
```

Рисунок 5 - Параметры модели двухзвенного робота

4. График траектории с оптимальными значениями ПД-регулятора ($K_P = 10.0$, $K_D = 1.0$), при котором минимальны колебания, ошибки слежения, отсутствует перерегулирование.

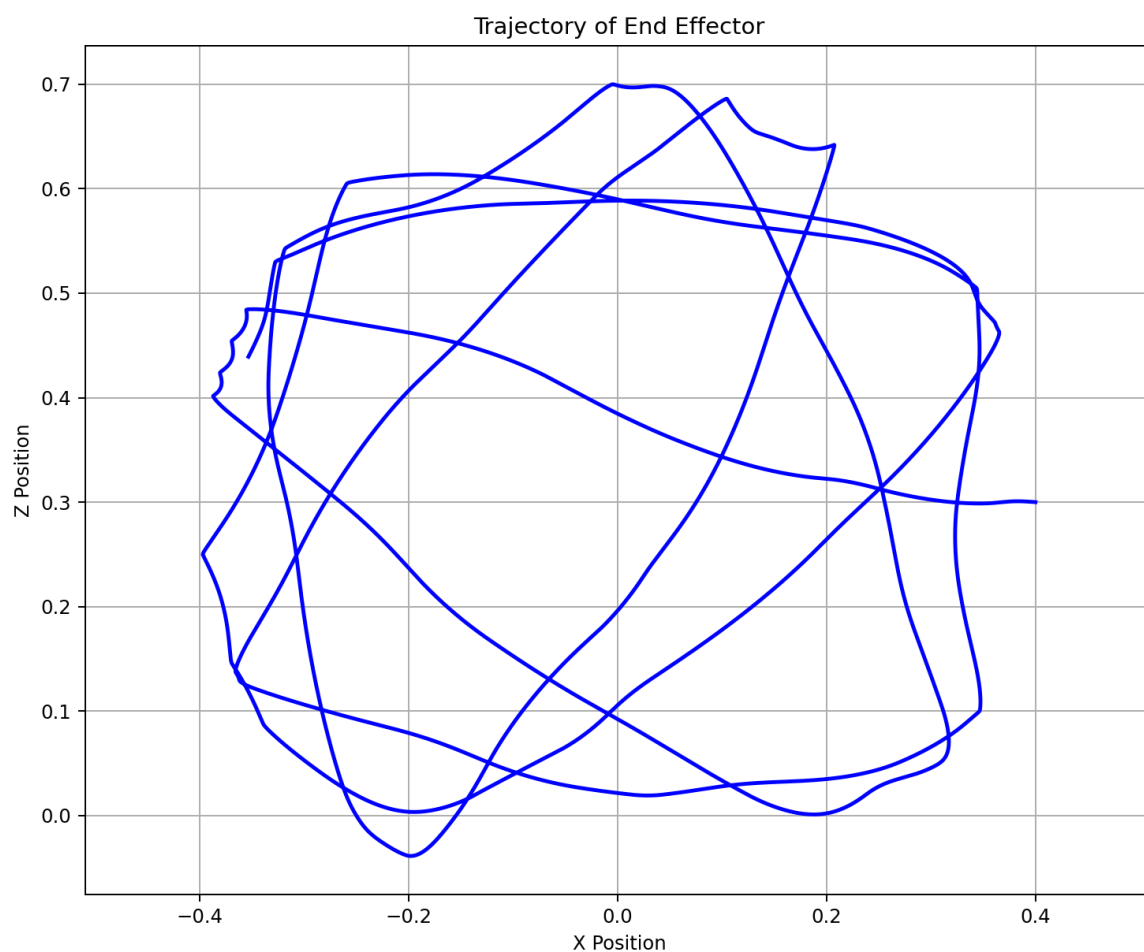


Рисунок 6 - Траектория движения конечного звена двухзвенного робота

На Рисунке 7 показана траектория с выраженными колебаниями, возникающими вследствие недостаточного демпфирования в контуре управления.

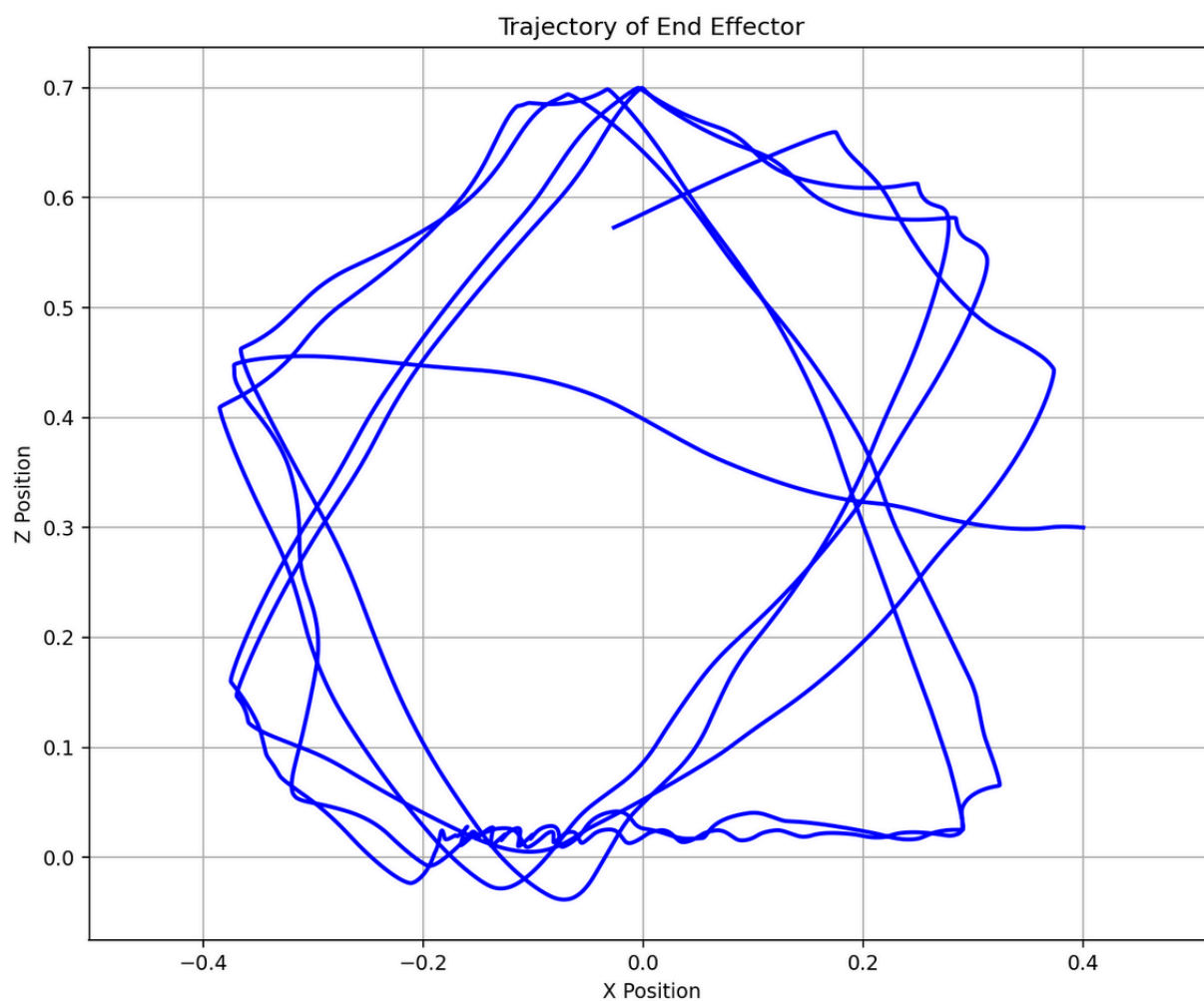


Рисунок 7 - Траектория движения конечного звена при наличии колебаний

Заключение

В ходе лабораторной работы была успешно выполнена задача синтеза и исследования системы управления двухзвенным манипулятором с сухожильным приводом.

Модифицирована модель робота в MuJoCo путем добавления: сенсоров положения сухожилий (ten1_pos, ten2_pos) и исполнительных механизмов сухожильного привода (q1, q2) в модель XML для дальнейшей работы с ней.

Экспериментальным путем определены оптимальные параметры ПД-регулятора: $K_p=10.0$, $K_r=1.0$. Достигнута стабильность системы управления с минимальной ошибкой отслеживания траектории. Результаты визуализированы в виде графиков траектории движения конечного звена.