



ИТМО
МФКТУ
ФСУИР

Практическая работа №4

Дисциплина: Имитационное моделирование
робототехнических систем

Студент: Воробьёв Роман, R4133с

Преподаватель: Ракшин Егор Александрович

Санкт-Петербург
2025

Детали работы

Целью работы была реализация движения входного звена механизма по заданному закону $AMP \cdot \sin(FREQ \cdot t) + BIAS$,

где $AMP = 57,7^\circ$, $FREQ = 3,56$ Гц, $BIAS = -25,3^\circ$.

Для начала в xml-файл проекта был добавлен актуатор во вращательное сочленение O:

```
<actuator>
    <position name="0" joint="0"/>
</actuator>
```

Затем создан сенсор, измеряющий угол и угловую скорость в этом сочленении:

```
<sensor>
    <framepos objtype="site" objname="sA"/>
</sensor>
```

В скрипте на Python реализовано управление:

```
err = theta1_des - theta1
dT = time.time() - t_prev
derr = (err - err_prev)/dT

d.ctrl[0] = KP * err + KD*derr
t_prev = time.time()
```

В начале вычисляются ошибка и скорость изменения ошибки, после чего рассчитывается управляющее воздействие ПД-регулятора. Ошибка вычисляется как разница между целевым значением угла звена OA θ_{1_des} и фактическим θ_{1_actual} , которые задаются в предыдущих строчках:

```
theta1_des = AMP*np.sin(FREQ*(time.time() - t0)) + BIAS
theta1 = d.qpos[0]
```

Проверим, способно ли вообще звено ОА свободно вращаться в пределах от -83° до $32,4^\circ$.

На рисунке 1 видно, что еще до достижения -83° ($-1,45$ рад) звенья АВ и СВ неизбежно пересекаются.

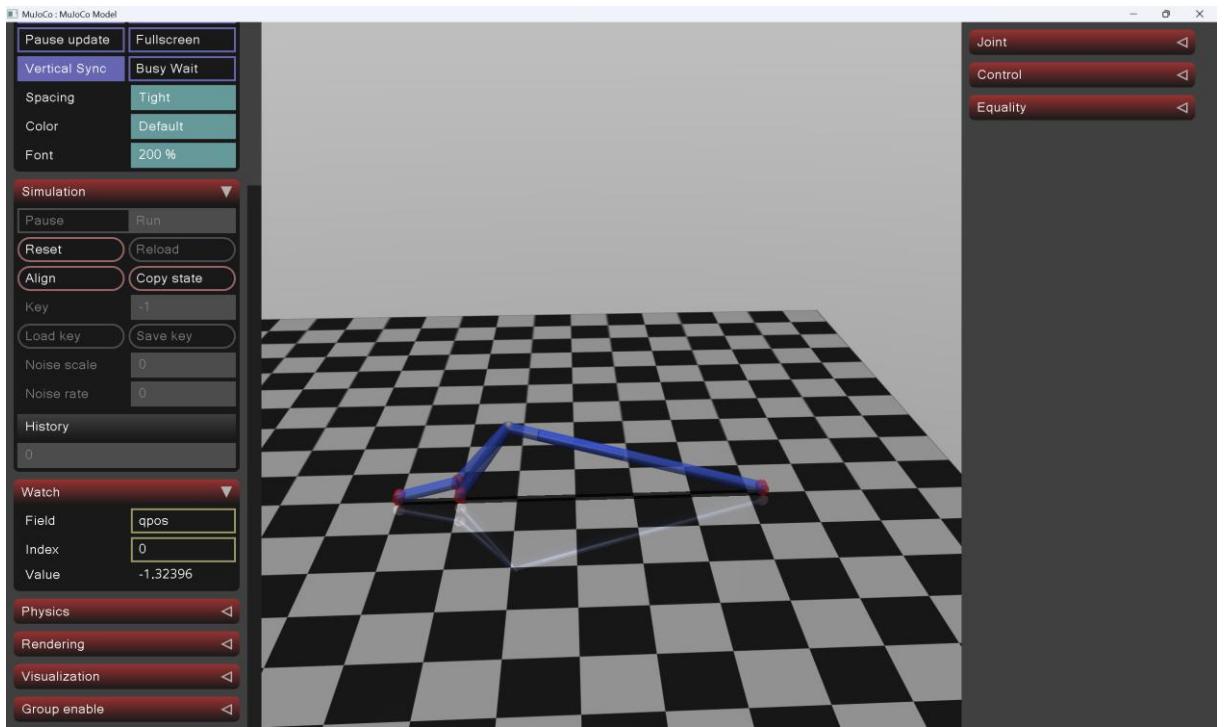


Рисунок 1 – Моделирование движения в заданных пределах

При заданных значениях радиусов цилиндров звеньев и сочленений, предел вращения звена ОА больше -83° , а именно около -76° .

Если уменьшить радиусы всех цилиндров механизма, звенья полностью пересекаются, что показано на рисунке 2.

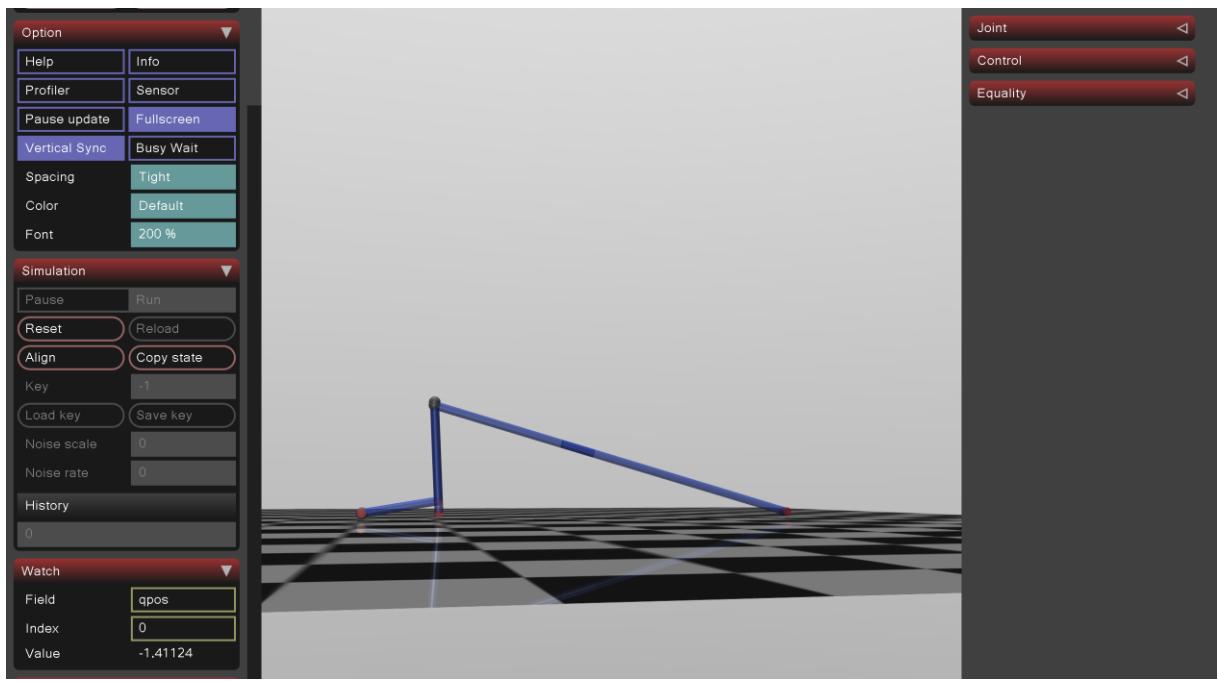


Рисунок 2 – Моделирование движения в заданных пределах после уменьшения радиуса цилиндров

Результаты

Для корректной и стабильной работы механизма уменьшим амплитуду. На рисунке 3 показана зависимость угла звена ОА от времени (синяя кривая) и желаемая зависимость, заданная уравнением (оранжевая кривая).

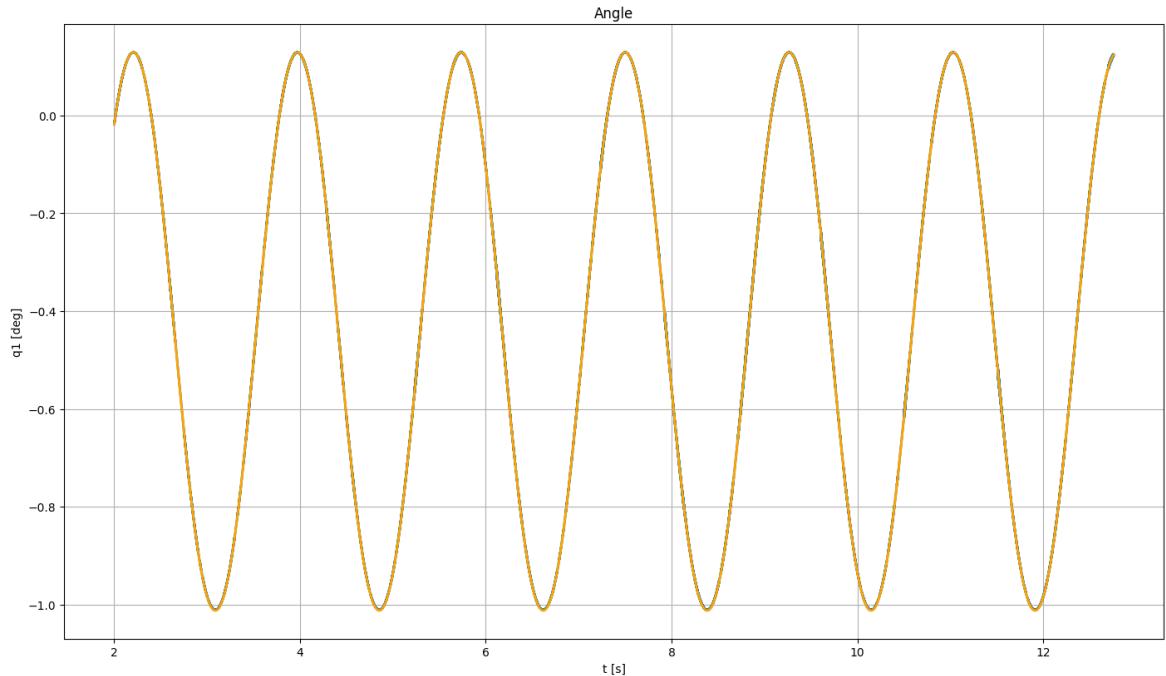


Рисунок 3 – Зависимость угла звена ОА от времени

На рисунке 4 приведен график ошибки управления. Видно, что ошибка колеблется в основном в пределах $0,005^\circ$, но есть отдельные выбросы, связанные люфтом в соединении 3 сайтов механизма.

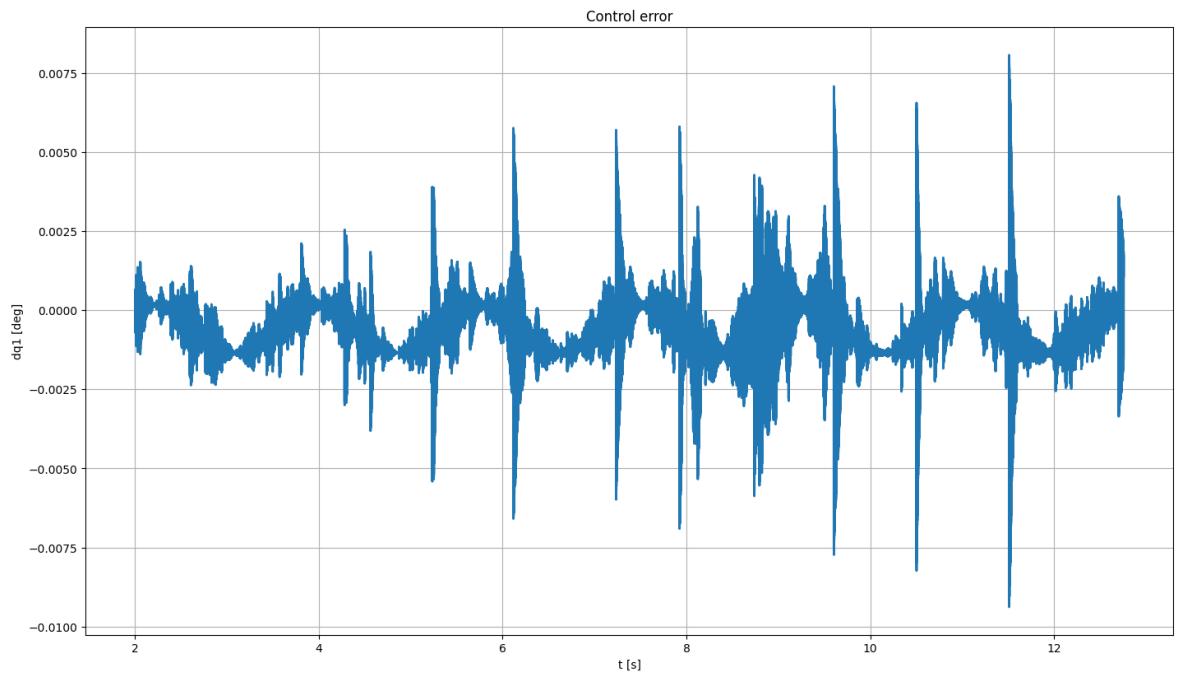


Рисунок 4 – Ошибка управления

Код xml-файла и содержание программы на Python приведены в Приложении 1 и Приложении 2 соответственно.

Приложение 1

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<mujoco>
    <option timestep="1e-4"/>
    <option gravity="0 0 -9.8"/>

    <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 name="OAB" pos="0 0 0.005" euler="90 0 0">
            <joint name="0" type="hinge" axis="0 0 1" stiffness="0"
springref="0" damping="0"/>
            <geom name="point 0" 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"/>
            <geom name="link OA" type="cylinder" pos="0 0.026 0" size="0.005
0.026" rgba="0.21 0.32 0.82 0.5" euler="90 0 0" contype="0"/>
            <site name="sA" size="0.006" pos="0 0 0"/>

            <body name="AB" pos="0 0.052 0" euler="0 0 0">
                <joint name="A" type="hinge" axis="0 0 1" stiffness="0"
springref="0" damping="0"/>
                <geom name="point A" 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"/>
                <geom name="link AB" type="cylinder" pos="0 0.0338 0"
size="0.005 0.0338" rgba="0.21 0.32 0.82 0.5" euler="90 0 0" contype="0"/>
                <site name="sB1" size="0.006" pos="0 0.0676 0"/>
            </body>
        </body>

        <body name="CB" pos="0.052 0 0.005" euler="90 0 0">
            <joint name="C" type="hinge" axis="0 0 1" stiffness="0"
springref="0" damping="0"/>
            <geom name="point C" 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"/>
            <geom name="link CB" type="cylinder" pos="0 0.039 0" size="0.005
0.039" rgba="0.21 0.32 0.82 0.5" euler="90 0 0" contype="0"/>
            <site name="sB2" size="0.006" pos="0 0.078 0"/>
        </body>

        <body name="DSB" pos="0.312 0 0.005" euler="90 0 0">
            <joint name="D" type="hinge" axis="0 0 1" stiffness="0"
springref="0" damping="0"/>
            <geom name="point D" 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"/>
            <geom name="link DS" type="cylinder" pos="0 0.09 0" size="0.005
0.09" rgba="0.21 0.32 0.82 0.5" euler="90 0 0" contype="0"/>
        </body>

        <body name="SB" pos="0 0.17 0" euler="0 0 0">
            <joint name="S" type="slide" axis="0 1 0" range="-0.12
0.12"/>
            <geom name="link SB" type="cylinder" pos="0 0.06 0"
size="0.005 0.06" rgba="0.21 0.32 0.82 0.5" euler="90 0 0" contype="0"/>
            <site name="sB3" size="0.006" pos="0 0.12 0"/>
        </body>
    </body>
</worldbody>
</mujoco>
```

```
</worldbody>

<equality>
    <connect site1="sB1" site2="sB2"/>
    <connect site1="sB1" site2="sB3"/>
</equality>

<actuator>
    <position name="0" joint="0"/>
</actuator>
<sensor>
    <framepos objtype="site" objname="sA"/>
</sensor>
</mujoco>
```

Приложение 2

```
from math import atan2, pi
from re import A
import time
import math
import numpy as np
import mujoco
import mujoco.viewer
import matplotlib.pyplot as plt

paused = False

def main():
    # Загружаем xml модель
    f = 'lab3.xml'
    m = mujoco.MjModel.from_xml_path(f)
    d = mujoco.MjData(m)

    AMP = np.deg2rad(32.7)
    FREQ = 3.56
    BIAS = np.deg2rad(-25.3)

    KP = 750
    KD = 1e-7

    q1_des = []
    q1 = []
    error = []
    t = []
    err_prev = BIAS

    t0 = time.time()
    t_prev = t0

    # запуск viewer
    with mujoco.viewer.launch_passive(m, d) as viewer:
        while viewer.is_running():
            step_start = time.time()
            if not paused:
                mujoco.mj_step(m, d)

            viewer.sync()

            theta1_des = AMP*np.sin(FREQ*(time.time() - t0)) + BIAS
            theta1 = d.qpos[0]

            err = theta1_des - theta1

            dT = time.time() - t_prev
            derr = (err - err_prev)/dT

            d.ctrl[0] = KP * err + KD*derr
            t_prev = time.time()

            if time.time()-t0 > 2:
                q1.append(theta1)
                q1_des.append(theta1_des)
                error.append(err)
                t.append(time.time() - t0)
```

```
fig1 = plt.figure()
ax = fig1.add_subplot(111)
ax.plot(t, q1, linewidth=2)
ax.plot(t, q1_des, linewidth=2, color='orange')
ax.set_title("Angle")
ax.set_xlabel("t [s]")
ax.set_ylabel("q1 [deg]")
ax.grid(True)

fig2 = plt.figure()
ax = fig2.add_subplot(111)
ax.plot(t, error, linewidth=2)
ax.set_title("Control error")
ax.set_xlabel("t [s]")
ax.set_ylabel("dq1 [deg]")
ax.grid(True)

plt.show()
input("\n ")

if __name__ == "__main__":
    main()
```