

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 №4
по дисциплине
«Имитационное моделирование робототехнических систем»

Студен:

Группа R4134с

И. Ковылин

Преподаватель:

Ассистент

Е.А. Ракишин

Санкт-Петербург 2025 г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

- В модель, созданную в предыдущем задании, необходимо добавить исполнительные механизмы — два исполнительных механизма (q_1 и q_2).
- Измените XML-файл, добавив контейнеры `<actuator>` и `<sensor>`
- Определите управляющее усилие с помощью ПД-регулятора. $q_{des} = AMP \cdot \sin(FREQ \cdot t) + BIAS$.

ЛИСТИНГ ПРОГРАММ

```

1  import mujoco
2  import mujoco.viewer
3  import numpy as np
4  import time
5  import os
6  import matplotlib.pyplot as plt
7
8
9  # Геометрия
10 def calculate_crossed_tangent_points(c1, r1, c2, r2):
11     c1 = np.array(c1)
12     c2 = np.array(c2)
13     d_vec = c2 - c1
14     d = np.linalg.norm(d_vec)
15     if d < 1e-8:
16         return None
17
18     unit_d = d_vec / d
19     perp_d = np.array([-unit_d[1], unit_d[0]])
20
21     r2_eff = -r2
22     cos_theta = (r1 - r2_eff) / d
23     if abs(cos_theta) > 1.0:
24         return None
25
26     sin_theta = np.sqrt(1 - cos_theta**2)
27
28     tangents = []
29     for side in [1, -1]:
30         dir_r = cos_theta * unit_d + side * sin_theta * perp_d
31         p1 = c1 + r1 * dir_r
32         p2 = c2 + r2_eff * dir_r
33         tangents.append((p1, p2))
34
35     return tangents
36
37
38
39 # Обновление положений
40
41 def update_tendon_sites(model, data):
42     block1_pos = data.body("body_block1").xpos[:2]
43     block2_pos = data.body("body_block2").xpos[:2]
44
45     r1 = model.geom("block1").size[0]
46     r2 = model.geom("block2").size[0]
47
48     tangents = calculate_crossed_tangent_points(block1_pos, r1, block2_pos, r2)
49     if tangents is None:
50         return
51
52     tangents = sorted(tangents, key=lambda t: t[0][1], reverse=True)
53     (t1_b1, t1_b2), (t2_b1, t2_b2) = tangents
54
55     z = 0.0
56     b1_xmat = data.body("body_block1").xmat.reshape(3, 3)
57     b2_xmat = data.body("body_block2").xmat.reshape(3, 3)
58
59     rel_t1_b1 = np.dot(b1_xmat.T, [t1_b1[0], t1_b1[1], z] - data.body("body_block1").xpos)
60     rel_t2_b1 = np.dot(b1_xmat.T, [t2_b1[0], t2_b1[1], z] - data.body("body_block1").xpos)
61     rel_t1_b2 = np.dot(b2_xmat.T, [t1_b2[0], t1_b2[1], z] - data.body("body_block2").xpos)
62     rel_t2_b2 = np.dot(b2_xmat.T, [t2_b2[0], t2_b2[1], z] - data.body("body_block2").xpos)
63
64     data.qpos[model.joint("t1_block1_joint").qposadr[0]:
65             model.joint("t1_block1_joint").qposadr[0] + 2] = rel_t1_b1[:2]
66
67     data.qpos[model.joint("t2_block1_joint").qposadr[0]:
68             model.joint("t2_block1_joint").qposadr[0] + 2] = rel_t2_b1[:2]
69

```

Рисунок 1.1 – листинг скрипта на python

```

70     data.qpos[model.joint("t1_block2_joint").qposadr[0]:
71         |         | model.joint("t1_block2_joint").qposadr[0] + 2] = rel_t1_b2[:2]
72
73     data.qpos[model.joint("t2_block2_joint").qposadr[0]:
74         |         | model.joint("t2_block2_joint").qposadr[0] + 2] = rel_t2_b2[:2]
75
76
77
78     # Хранение траектории
79     time_log = []
80     q1_log, q1_des_log = [], []
81     q2_log, q2_des_log = [], []
82
83
84
85     # ИИ
86
87     def control_callback(model, data):
88
89         k = 1
90
91         KP1, KD1 = 135550.0 / k, 715.0 / k
92         KP2, KD2 = 135550.0 / k, 715.0 / k
93
94         AMP1, FREQ1, BIAS1 = 18.7 / k, 3.8 / k, -36.7 / k
95         AMP2, FREQ2, BIAS2 = 54.03 / k, 2.62 / k, 25.3 / k
96
97         t = data.time
98
99         # Ожидаемые
100         q1_des = AMP1 * np.sin(FREQ1 * t) + BIAS1
101         dq1_des = AMP1 * FREQ1 * np.cos(FREQ1 * t)
102
103         q2_des = AMP2 * np.sin(FREQ2 * t) + BIAS2
104         dq2_des = AMP2 * FREQ2 * np.cos(FREQ2 * t)
105
106         # Текущие
107         q1 = data.joint("block1_joint").qpos[0]
108         dq1 = data.joint("block1_joint").qvel[0]
109
110         q2 = data.joint("block2_joint").qpos[0]
111         dq2 = data.joint("block2_joint").qvel[0]
112
113         # ИИ
114         data.ctrl[0] = KP1 * (q1_des - q1) + KD1 * (dq1_des - dq1)
115         data.ctrl[1] = KP2 * (q2_des - q2) + KD2 * (dq2_des - dq2)
116
117         time_log.append(t)
118         q1_log.append(q1)
119         q1_des_log.append(q1_des)
120         q2_log.append(q2)
121         q2_des_log.append(q2_des)
122
123         update_tendon_sites(model, data)
124
125     current_dir = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))
126     model_path = os.path.join(current_dir, "model.xml")
127
128     model = mujoco.MjModel.from_xml_path(model_path)
129     data = mujoco.MjData(model)
130
131     mujoco.set_mjcb_control(control_callback)
132
133     viewer = mujoco.viewer.launch(model, data)
134

```

Рисунок 1.2 – листинг скрипта на python

```

134
135
136
137 # Отображение траектории
138 plt.figure(figsize=(12, 6))
139
140 plt.subplot(2, 1, 1)
141 plt.plot(time_log, (variable) q1_des_log: Any
142 plt.plot(time_log, q1_des_log, '--', label="q1 desired")
143 plt.grid()
144 plt.legend()
145 plt.title("Block 1 trajectory")
146
147 plt.subplot(2, 1, 2)
148 plt.plot(time_log, q2_log, label="q2 actual")
149 plt.plot(time_log, q2_des_log, '--', label="q2 desired")
150 plt.grid()
151 plt.legend()
152 plt.title("Block 2 trajectory")
153
154 plt.tight_layout()
155 plt.show()
156
157
158
159 if viewer is None:
160     raise RuntimeError("Не удалось запустить MuJoCo viewer. Возможно, проблема с GL или GLFW.")
161
162 while viewer.is_running():
163     viewer.sync()
164     time.sleep(0.002)
165
166 # Окно закрыто пользователем и закрываем viewer корректно
167 viewer.close()
168
169
170

```

Рисунок 1.3 – листинг скрипта на python

```

1  <?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
2  <mujoco>
3
4      <option timestep="1e-4"/>
5      <option gravity="0 0 -9.8"/>
6
7      <asset>
8          <texture type="skybox" builtin="gradient"
9              rgb1="1 1 1" rgb2="0.5 0.5 0.5"
10             width="256" height="256"/>
11      </asset>
12
13      <worldbody>
14
15
16          <camera name="wide" pos="0 0 2" zaxis="0 0 1" fovy="100"/>
17
18          <light pos="0 0 5" dir="0 0 -1"/>
19
20          <!-- Блок 1 -->
21          <body name="body_block1" pos="0.075 0 0">
22              <joint name="block1_joint" type="slide" axis="0 1 0"
23                  limited="true" range="-0.1 0.1" damping="0.0001"/>
24
25              <geom name="block1" type="cylinder" size="0.042 0.01"/>
26
27              <geom name="wall1" type="box" pos="-0.05 0 0"
28                  size="0.001 0.05 0.03" rgba=".7 .7 .7 1"/>
29
30              <site name="s1_wall1" pos="-0.05 0.042 0" size="0.003"/>
31              <site name="s2_wall1" pos="-0.05 -0.042 0" size="0.003"/>
32
33              <body name="t1_block1_body">
34                  <joint name="t1_block1_joint" type="slide" axis="1 0 0"/>
35                  <joint type="slide" axis="0 1 0"/>
36                  <geom type="sphere" size="0.002"/>
37                  <site name="t1_block1" size="0.003"/>
38              </body>
39
40              <body name="t2_block1_body">
41                  <joint name="t2_block1_joint" type="slide" axis="1 0 0"/>
42                  <joint type="slide" axis="0 1 0"/>
43                  <geom type="sphere" size="0.002"/>
44                  <site name="t2_block1" size="0.003"/>
45              </body>
46
47              <site name="s1_b1" pos="0 0.052 0" size="0.003"/>
48              <site name="s2_b1" pos="0 -0.052 0" size="0.003"/>
49
50          <!-- Блок 2 -->
51          <body name="body_block2" pos="0.081 0 0">
52              <joint name="block2_joint" type="slide" axis="0 1 0"
53                  limited="true" range="-0.1 0.1" damping="0.0001"/>
54
55              <geom name="block2" type="cylinder" size="0.025 0.01"/>
56
57              <body name="t1_block2_body">
58                  <joint name="t1_block2_joint" type="slide" axis="1 0 0"/>
59                  <joint type="slide" axis="0 1 0"/>
60                  <geom type="sphere" size="0.002"/>
61                  <site name="t1_block2" size="0.003"/>
62              </body>
63
64              <body name="t2_block2_body">
65                  <joint name="t2_block2_joint" type="slide" axis="1 0 0"/>
66                  <joint type="slide" axis="0 1 0"/>
67                  <geom type="sphere" size="0.002"/>
68                  <site name="t2_block2" size="0.003"/>
69              </body>

```

Рисунок 2.1 – листинг xml файла

```

70
71         <site name="s1_b2" pos="0 -0.035 0" size="0.003"/>
72         <site name="s2_b2" pos="0 0.035 0" size="0.003"/>
73
74         <body name="load" pos="0.046 0 0">
75             <geom type="box" size="0.001 0.03 0.02" rgba=".7 .7 .7 1"/>
76             <site name="s1_load" pos="0 -0.025 0"/>
77             <site name="s2_load" pos="0 0.025 0"/>
78         </body>
79     </body>
80 </worldbody>
81
82 <tendon>
83     <spatial width="0.003">
84         <site site="s1_wall1"/>
85         <geom geom="block1" sidesite="s1_b1"/>
86         <site site="t1_block1"/>
87         <site site="t1_block2"/>
88         <geom geom="block2" sidesite="s1_b2"/>
89         <site site="s1_load"/>
90     </spatial>
91
92     <spatial width="0.003">
93         <site site="s2_wall1"/>
94         <geom geom="block1" sidesite="s2_b1"/>
95         <site site="t2_block1"/>
96         <site site="t2_block2"/>
97         <geom geom="block2" sidesite="s2_b2"/>
98         <site site="s2_load"/>
99     </spatial>
100 </tendon>
101
102 <actuator>
103     <position joint="block1_joint" kp="1"/>
104     <position joint="block2_joint" kp="1"/>
105 </actuator>
106
107
108
109
110
111 </mujoco>
112

```

Рисунок 2.2 – листинг xml файла



Рисунок 3 – внешний вид модели

Из – за слишком больших значений и маленькой геометрии тяжело уследить за траекторией, поэтому траектории были выведены на plot, при обычных значениях синусоиды, и уменьшенных в 10 раз.

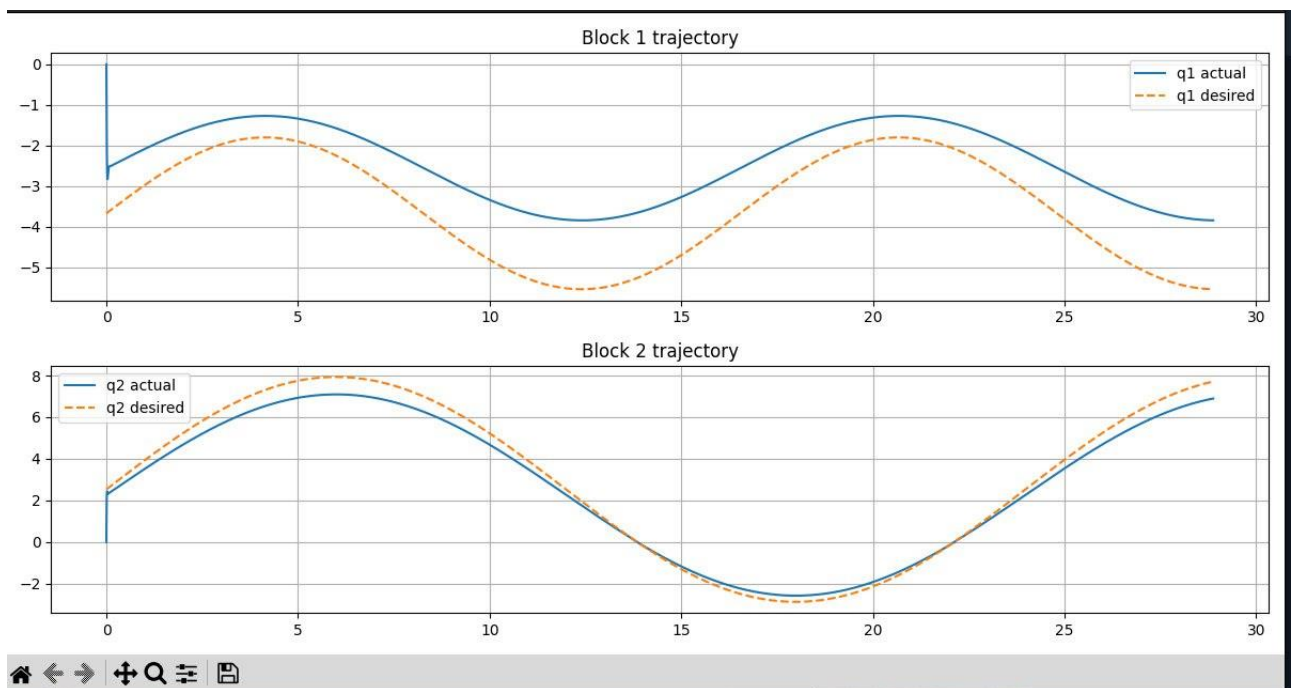


Рисунок 4 – график при уменьшенных параметрах синусоиды в 10 раз

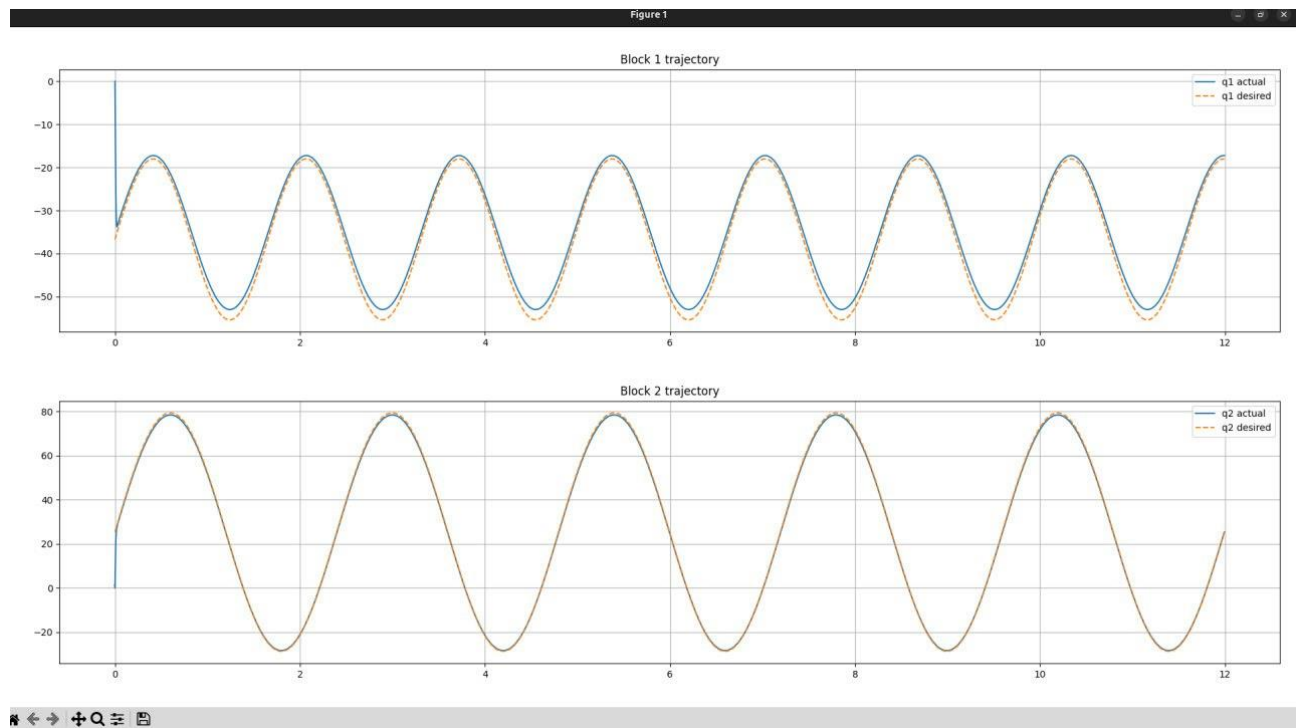


Рисунок 5 – график при обычных параметрах синусоиды в 10 раз

ВЫВОД.

В данной работе была разработана модель сухожильно-связанного 2R плоского механизма с помощью библиотеки Mujoco.