Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Факультет систем управления и робототехники

Отчет по лабораторной работе №7 «Прямая и обратная задача кинематики. DH-параметры» по дисциплине «Введение в профессиональную деятельность»

Выполнили студенты гр. **R3135**
Трубицына А.М.
Вьюгина А.П.
Репин А.В.
Макаренко К.С.
Преподаватель: Перегудин А.А.,
ассистент фак. СУиР

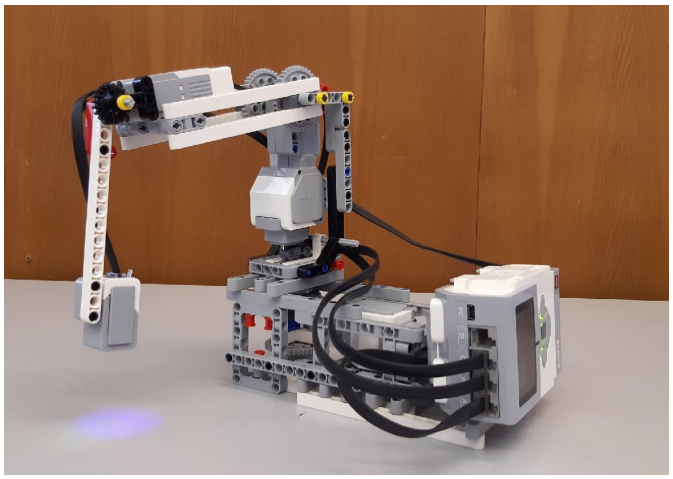
Санкт-Петербург 2020

1 Цель работы

Ознакомиться со способом нахождения параметров манипулятора и научиться переходить из декартовых координат в обобщенные и обратно.

2 Описание собранного робота

Фотографии собранного робота



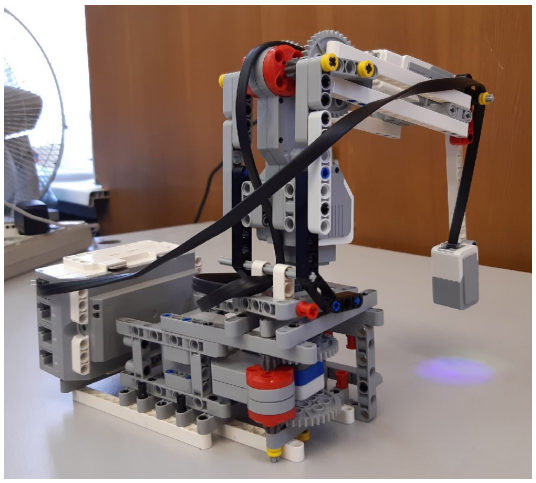


Рис. 1: Фотографии робота

У первого и второго мотора передаточное отношение равно 5, у третьего - $\frac{5}{3}$ (при нумерации моторов снизу вверх).

Параметры Денавита-Харденберга

Для упрощения расчетов и использования четырех величин вместо 6 можно использовать параметры Денавита-Хартенберга. Это один из наиболее общих способов определить координаты хвата манипулятора по обобщенным координатам манипулятора (т. е. по углам, на которые поворачиваются звенья). Безусловно, координаты можно рассчитать и геометрически, как сделано далее, но в случае, когда звеньев много, этот способ оказывается неудобным.

Более того, для того, чтобы манипулятор не ломался, были разработаны некоторые ограничения в области достижимости манипулятора. Одно из представлений ограничений - в виде геометрических фигур. Сам блок манипулятора представлен в виде параллелепипеда, первое звено, перпендикулярное к поверхности - в виде цилиндра. Одна из проверок проводится по координатам, но также стоит ограничение на выкручивание моторов. Для того, чтобы реализовать эти ограничения в программах, мы измерили максимальные углы, на которые может отклоняться мотор без вреда для для манипулятора, и добавили их в программу:

```
q0 = [saturate(q0[0], -180, 180), saturate(q0[1], -70, 135), saturate(q0[2], -120, 100)]
```

Первый мотор может поворачиваться на $\pm 180°$, второй - от $-70°$ до $135°$, третий - от $-120°$ до $100°$.

Звено i	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0,7 см	$\frac{\pi}{2}$	18 см	θ_1
2	12,8 см	0	0	$\theta_2 + \frac{\pi}{2}$
3	12,8 см	0	0	θ_3

3 Коды для перехода из одной системы координат в другую

3.1 Функция для перехода из обобщенной СК в Декартову с помощью геометрических расчетов

Вывод формул

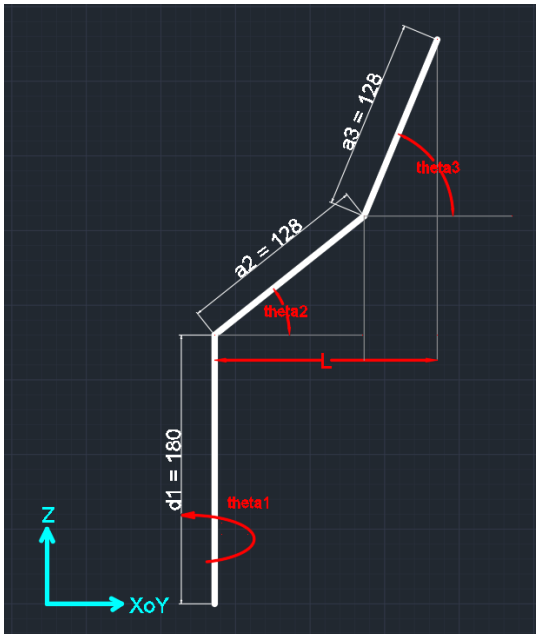


Рис. 2: Чертеж для вывода указанных формул

Из чертежа:

$$\begin{cases} z = d_1 + a_2 \sin\theta_2 + a_3 \sin\theta_3 \\ L = a_2 \cos\theta_2 + a_3 \cos\theta_3 \end{cases}$$

Тогда итоговый результат равен

$$\begin{cases} x = \cos\theta_1 (a_2 \cos\theta_2 + a_3 \cos\theta_3) \\ y = \sin\theta_1 (a_2 \cos\theta_2 + a_3 \cos\theta_3) \\ z = d_1 + a_2 \sin\theta_2 + a_3 \sin\theta_3 \end{cases}$$

Код

```
def straight_transfer_formulas(theta1, theta2, theta3):
    theta3 = theta2-theta3
    theta1 = np.deg2rad(theta1)
    theta2 = np.deg2rad(theta2)
    theta3 = np.deg2rad(theta3)
    a = [0, 0.007, 0.128, 0.128]  # массив значений a_i
    alpha = [0, pi / 2, 0, 0]
    d = [0, 0.18, 0, 0]  # массив значений d_i
    x = (a[2] * cos(theta2) + a[3] * cos(theta3)) * cos(theta1)
    y = (a[2] * cos(theta2) + a[3] * cos(theta3)) * sin(theta1)
    z = d[1] + a[2] * sin(theta2) + a[3] * sin(theta3)
    print("x = ", x)
    print("y = ", y)
    print("z = ", z)
```

3.2 Функция для перехода из обощенной СК в Декартову с помощью матричных расчетов

Вывод формул

Матрица перехода из обобщенной СК в Декартову является произведением матриц перехода от $i-1$-го звена к i-ому: $T_n^0 = T_1^0 \cdot T_2^1 \cdot T_3^2$.
Итоговая матрица - результат следующего выражения:

$$T_3^0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1\cos\alpha_1 & \sin\theta_1\sin\alpha_1 & a_1\cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1\cos\alpha_1 & -\cos\theta_1\sin\alpha_1 & a_1\sin\theta_1 \\ 0 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot$$
$$\begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2\cos\alpha_2 & \sin\theta_2\sin\alpha_2 & a_2\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2\cos\alpha_2 & -\cos\theta_2\sin\alpha_2 & a_2\sin\theta_2 \\ 0 & \sin\alpha_2 & \cos\alpha_2 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3\cos\alpha_3 & \sin\theta_3\sin\alpha_3 & a_3\cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3\cos\alpha_3 & -\cos\theta_3\sin\alpha_3 & a_3\sin\theta_3 \\ 0 & \sin\alpha_3 & \cos\alpha_3 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Код

```
def straight_transfer(theta1, theta2, theta3):
    theta3 = -theta3
    # перевод из градусов в радианы
    theta1 = np.deg2rad(theta1)
    theta2 = np.deg2rad(theta2)
    theta3 = np.deg2rad(theta3)
    Q = np.array([[0], [0], [0], [1]])

    a = [0, 0, 0.128, 0.128]  # массив значений a_i
    alpha = [0, pi / 2, 0, 0]
    d = [0, 0.18, 0, 0]  # массив значений d_i

    T_0_1 = np.array([[cos(theta1), -sin(theta1) * cos(alpha[1]), sin(theta1) *
    ↪  sin(alpha[1]), a[1] * cos(theta1)],
                      [sin(theta1), cos(theta1) * cos(alpha[1]), -cos(theta1) *
                      ↪  sin(alpha[1]), a[1] * sin(theta1)],
                      [0, sin(alpha[1]), cos(alpha[1]), d[1]],
                      [0, 0, 0, 1]])

    T_1_2 = np.array([[cos(theta2), -sin(theta2) * cos(alpha[2]), sin(theta2) *
    ↪  sin(alpha[2]), a[2] * cos(theta2)],
                      [sin(theta2), cos(theta2) * cos(alpha[2]), -cos(theta2) *
                      ↪  sin(alpha[2]), a[2] * sin(theta2)],
                      [0, sin(alpha[2]), cos(alpha[2]), d[2]],
                      [0, 0, 0, 1]])

    T_2_3 = np.array([[cos(theta3), -sin(theta3) * cos(alpha[3]), sin(theta3) *
    ↪  sin(alpha[3]), a[3] * cos(theta3)],
                      [sin(theta3), cos(theta3) * cos(alpha[3]), -cos(theta3) *
                      ↪  sin(alpha[3]), a[3] * sin(theta3)],
                      [0, sin(alpha[3]), cos(alpha[3]), d[3]],
                      [0, 0, 0, 1]])
    T = T_0_1.dot(T_1_2).dot(T_2_3)
    XYZ = T.dot(Q)
    print("x = ", XYZ[0][0])
    print("y = ", XYZ[1][0])
    print("z = ", XYZ[2][0])
```

3.3 Функция для перехода из Декартовой СК в обобщенную

```
def backwards_transfer(x, y, z):
    a = [0, 0, 0.128, 0.128]  # массив значений a_i
    d = [0, 0.18, 0, 0]  # массив значений d_i
    r1 = sqrt(x ** 2 + y ** 2)
    r2 = z - d[1]
    r3 = sqrt(r1 ** 2 + r2 ** 2)

    theta1 = atan(y / x)
    psi1 = acos((a[2] ** 2 + r3 ** 2 - a[3] ** 2) / (2 * a[2] * r3))
```

```
    psi2 = atan(r2 / r1)
    theta2 = psi2 + psi1
    psi3 = acos((a[2] ** 2 + a[3] ** 2 - r3 ** 2) / (2 * a[2] * a[3]))
    theta3 = pi - psi3

    theta1 = np.rad2deg(theta1)
    theta2 = np.rad2deg(theta2)
    theta3 = np.rad2deg(theta3)

    print("theta1 = ", theta1)
    print("theta2 = ", theta2)
    print("theta3 = ", theta3)
```

4 Код для движения робота

4.1 Поочередный поворот звеньев манипулятора на заданные углы

```
from ev3dev.ev3 import *
import time


def saturate(x, left, right):
    if x > right: x = right
    if x < left: x = left
    return x


sound = Sound()
sound.set_volume(100)
sound.beep()

# первая координата - motorA
# вторая координата - motorB
# третья координата - motorC
q0 = [90, 45, 45]

# калибровка координат
q0 = [saturate(q0[0], -180, 180), saturate(q0[1], -70, 135), saturate(q0[2], -120,
↪  100)]
q = [5 * q0[0], -5 * q0[1], -5/3 * q0[2]]

# значение коэффициентов в градусных мерах
k_p = [0.3, 0.3, 0.1]
k_i = [0.25/60, 0.25/60, 0]
k_d = [1/60, 1/60, 0]


motorA = LargeMotor('outA')
motorB = LargeMotor('outB')
motorC = MediumMotor('outC')

motorA.position = 0
motorB.position = 0
motorC.position = 0

timeStart = time.time()
last_t = time.time()
sum = 0
last_e = 0
```

```
inaccuracy = 5  # погрешность в градусах
U_max = 6.97

name = str(q0[0]) + "_" + str(q0[1]) + "_" + str(q0[2]) + ".txt"
file = open(name, 'w')

motors_set = [motorA, motorB, motorC]

for i in range(3):
    while abs(q[i] - motors_set[i].position) > inaccuracy:
        e = q[i] - motors_set[i].position
        dt = time.time() - last_t
        U = k_p[i] * e + k_d[i] * (e - last_e) / dt + k_i[i] * sum * dt
        U = U/U_max*100
        motors_set[i].run_direct(duty_cycle_sp=saturate(U, -100, 100))
        file.write(str(motorA.position) + '\t' + str(motorB.position) + '\t' +
        ↪  str(motorC.position) + '\t' + str(
            saturate(U, -100, 100)) + '\t' + str(k_p[i] * e) + '\t' + str(k_d[i] * (e
            ↪  - last_e) / dt) + '\t' +
                  str(k_i[i] * sum * dt) + '\n')
        sum += e
        last_e = e
        last_t = time.time()
    sum = 0
    last_e = 0
    last_t = time.time()
    motors_set[i].run_direct(duty_cycle_sp=0)

file.close()
```

Код, реализующий движение по нескольким заданным точкам, аналогичен вышеуказанному, с единственной разницей в том, что есть массив массивов с точками, которые необходимо обойти, и внешний цикл `for j in range(n)`.

4.2 Одновременный поворот звеньев манипулятора на заданные углы

Единственное отличие от кода, представленного выше, заключается в следующем участке, где определяется управляющее воздействие.

```
while abs(q[0] - motors_set[0].position) > inaccuracy or abs(q[1] -
↪  motors_set[1].position) > inaccuracy or abs(q[2] - motors_set[2].position) >
↪  inaccuracy:
    for i in range(3):
        e[i] = q[i] - motors_set[i].position
        dt = time.time() - last_t
        U[i] = k_p[i] * e[i] + k_d[i] * (e[i] - last_e[i]) / dt + k_i[i] * sum[i] * dt
        U[i] = U[i]/U_max*50
        sum[i] += e[i]
        last_e[i] = e[i]
        last_t = time.time()
        if abs(q[i] - motors_set[i].position) > inaccuracy:
        ↪  motors_set[i].run_direct(duty_cycle_sp=saturate(U[i], -100, 100))
    file.write(str(motorA.position) + '\t' + str(motorB.position) + '\t' +
    ↪  str(motorC.position) + '\n')
```

5 Построенные в Matlab траектории движения робота

5.1 Скрипт на Matlab

```
results=dlmread('C:\Users\Anastasia\PycharmProjects\Robotics_Lab7\OUT
↪  25.05\square2\square2_4___-90_90_0.txt'); %считываем файл
theta1=results(:,1);
theta2=results(:,2);
theta3=results(:,3);


theta1 = theta1*pi/180/5;
theta2 = theta2*pi/180/(-5);
theta3 = theta3*pi/180/(-5/3);
theta3 = theta2-theta3;

a = [ 0.007, 0.128, 0.128];
d = [ 0.18, 0, 0];
for i = 1:size(results)
    x(i)=(a(2)*cos(theta2(i)) + a(3)*cos(theta3(i)))*(cos(theta1(i)));
    y(i) = (a(2) * cos(theta2(i)) + a(3) * cos(theta3(i)))*(sin(theta1(i)));
    z(i) = d(1) + a(2) * sin(theta2(i)) + a(3) * sin(theta3(i));
end

hold on;
line = plot3(x,y,z, 'magenta');
line.LineWidth = 2.5;
grid on;
```

5.2 Построенные графики

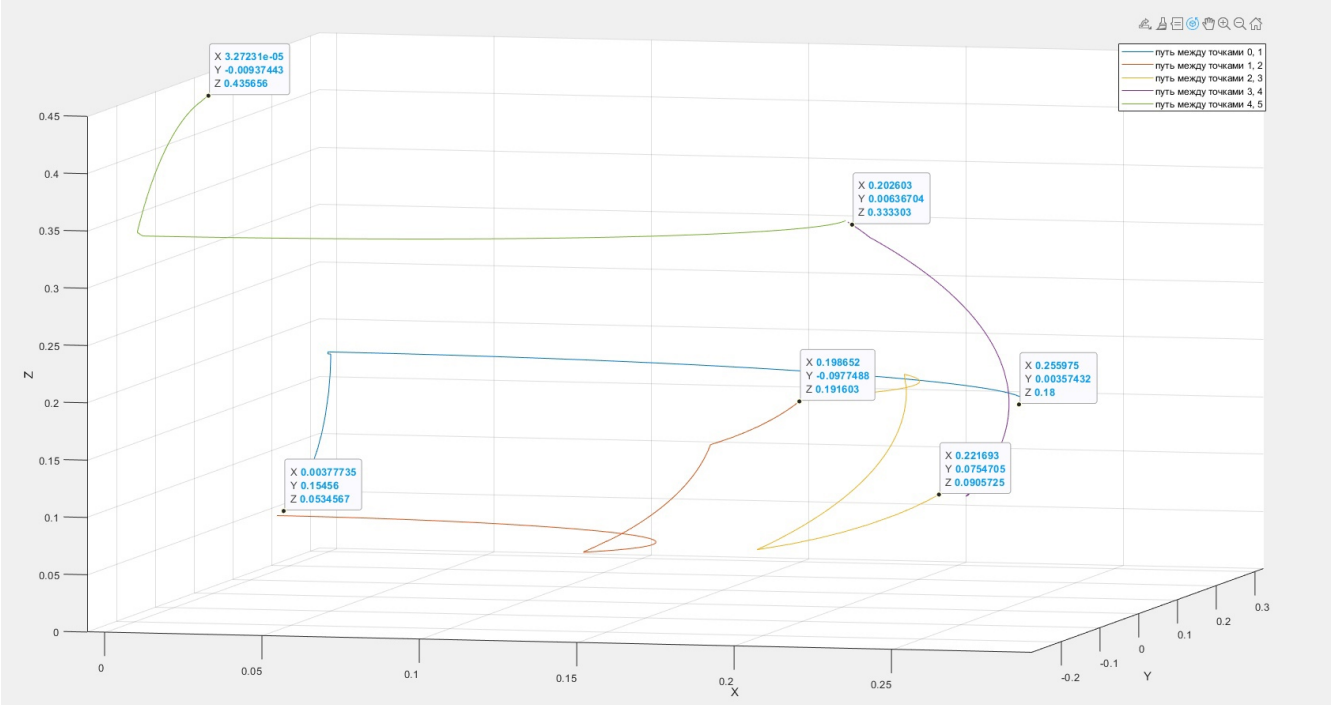


Рис. 3: Обход манипулятором 5 точек с поочередным вращением моторов

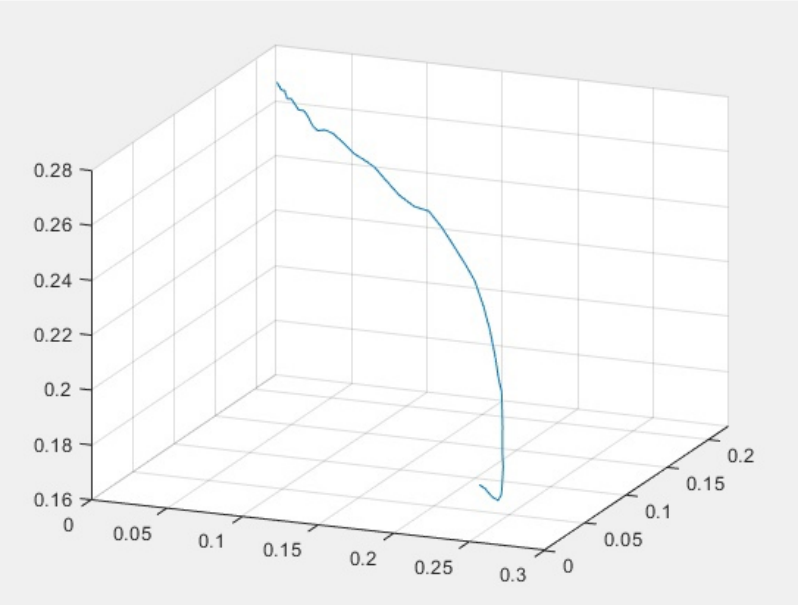


Рис. 4: Перемещение в точку с одновременным вращением моторов

6 Использование датчика цвета ColorSensor

В процессе работы появилась идея с помощью манипулятора реализовать механизм, который будет определять цвет предмета и записывать его координату.

Так как датчик определяет цвета достаточно неточно, то мы придумали некоторый алгоритм калибровки для попадания в классический 8-битный RGB интервал. Для этого мы удерживали датчик, смотрящий на белую бумагу, в одном положении, искали максимальное значение каждой компоненты света. В файл записывалось текущее значение компоненты, деленной на соответствующую максимальную и умноженное на 255. Также возникла идея построить график каждой из компонент и выделить пиковые значения.

6.1 Скрипты для реализации этой задачи

Код для калибровки датчика

```
red_component = blue_component = green_component = 0
counter = 0
while time.time() - time_start < 0.5:
    counter += 1
    red_component += color_sensor.value(0)
    green_component += color_sensor.value(1)
    blue_component += color_sensor.value(2)
red_ideal = red_component/counter
green_ideal = green_component/counter
blue_ideal = blue_component/counter
```

Код для построения графиков

```
results=dlmread('C:\Users\Anastasia\PycharmProjects\Robotics_Lab7\OUT
↪  8.06\code_color2.txt'); %считываем файл
time = results(:, 1);
red = results(:, 5);
```

```
green = results(:, 6);
blue = results(:, 7);
hold on;
plot(time, red, 'r');
plot(time, green, 'g');
plot(time, blue, 'b');
```

6.2 Полученный график интенсивностей RGB-компонент отраженного света

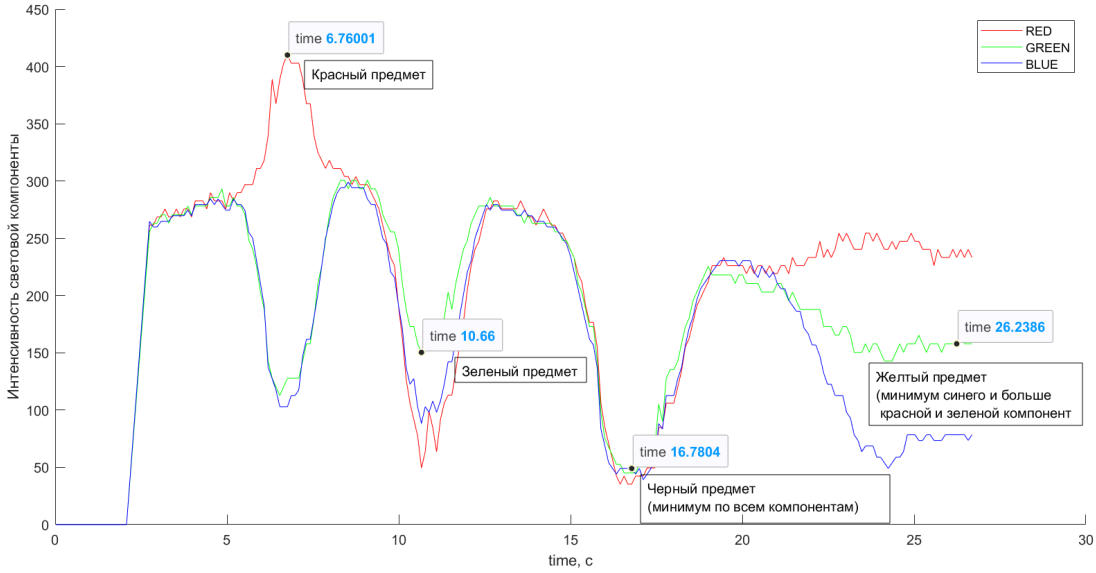


Рис. 5: График интенсивностей компонент

При анализе графика можно заметить 4 момента времени, в которые так или иначе устанавливается некоторое пиковое(т. е. максимальное или минимальное) значение по какой-то из компонент.

- Максимальное значение у красного, минимальные у синего и зеленого определяют красный цвет
- Значение эеленого больше, чем у синего и красного - значит, цвет - зеленый
- Минимум по всем компонентам определяет черный цвет
- Смесь красного и зеленого с минимальным количеством синего определяет желтый цвет. На этом моменте манипулятор замер, поэтому это значение является не пиковым, а установившимся. Однако, если бы робот продолжил движение, то значения бы также продолжили меняться.

Тогда, если проводить расчет для каждой точки, то получаются следующий результаты:

- Координата красной крышки: $(0.07, -0.08, 0)$
- Координата зеленого объекта: $(0.1, -0.025, 0)$
- Координата черной крышки: $(0.09, 0.06, 0)$
- Координата желтой детали: $(0.02, 0.11, 0)$

Координата z у всех трех объектов нулевая, потому что они лежат в плоскости XoY.

Действительно, аналитические выкладки верны, так как на самом деле ситуация выглядела следующим образом:

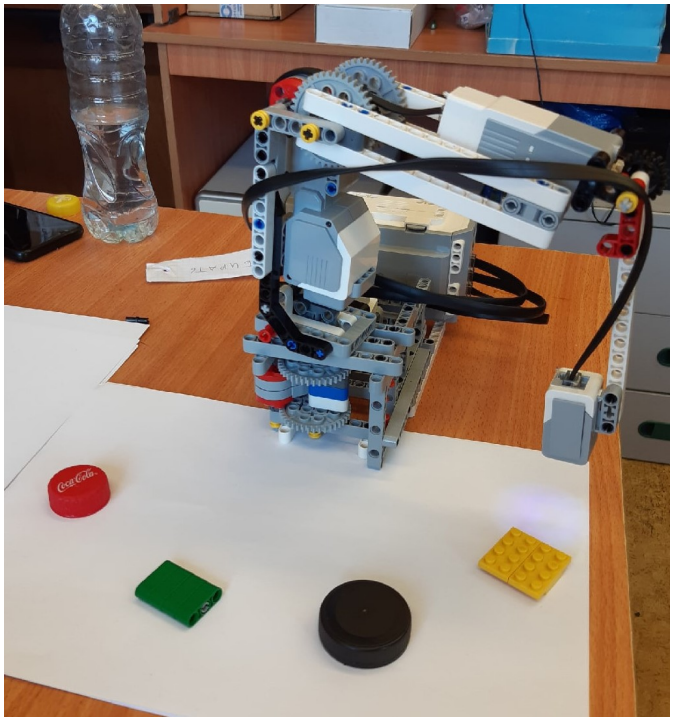


Рис. 6: Робот с крышками

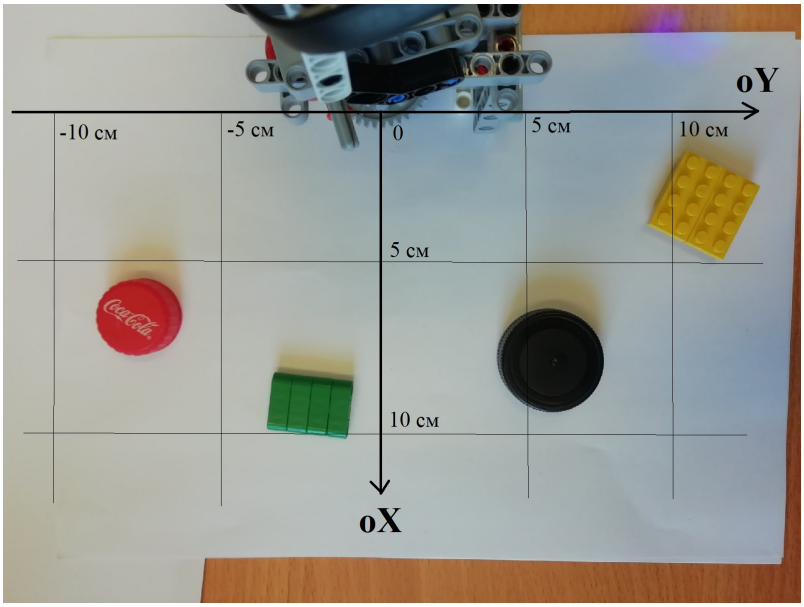


Рис. 7: Вид на робота сверху с примерной координатной сеткой

7 Выводы

В процессе выполнения лабораторной работы ознакомились со способами нахождения параметров манипулятора и научились переходить из декартовых координат в обобщенные и обратно.

Более того, была поставлена задача - научить робота распознавать цвета и узнать координату предмета того или иного цвета. Задача выполняется в полуавтоматическом режиме - робот записывает данные в файл, затем происходит ручной анализ графика и выборка необходимых углов, по которым в дальнейшем происходит расчет координат.