

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

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Факультет систем управления и робототехники

## Лабораторная работа № 3 "Матрицы в 3D-графике "

по дисциплине Практическая линейная алгебра

Выполнила: студентка гр. **R3238**

**Нечаева А. А.**

Преподаватель: *Перегудин Алексей Алексеевич*

Санкт-Петербург, 2023-2024

# 1 Задание. Создайте кубик.

## 1.1 Как работает код?

В первой части кода (рисунок 1) задаются координаты вершин куба: каждый столбец – вершина и сверху вниз в нем заданы координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$  в пространстве и  $w$  (последняя отвечает за перспективу).

```
1 verticesCube = [  
2     -1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1;  
3     -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, 1;  
4     -1, -1, -1, -1, 1, 1, 1, 1;  
5         1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1  
6     ];  
7
```

Рис. 1. Исходный код кубика, часть 1.

Вторая часть (рисунок 2) отвечает за задание плоскостей граней куба, в каждой строчке записаны 4 вершины куба, по которым строится грань.

```
8 facesCube = [  
9         1, 2, 6, 5;  
10        2, 3, 7, 6;  
11        3, 4, 8, 7;  
12        4, 1, 5, 8;  
13        1, 2, 3, 4;  
14        5, 6, 7, 8  
15    ];
```

Рис. 2. Исходный код кубика, часть 2.

Функция *DrawShape* отвечает за отрисовку кубика, сначала строятся точки вершин по 3 координатам и с учетом перспективы, затем изображаются грани.

```
16
17 DrawShape(verticesCube, facesCube, 'blue')
18 axis equal;
19 view(3);
20
21 function DrawShape(vertices, faces, color)
22     patch('Vertices', (vertices(1:3,:)./vertices(4,:))', 'Faces', faces, '
23         FaceColor', color);
24 end
```

*Рис. 3. Исходный код кубика, часть 3.*

## 1.2 Почему используется четырехкомпонентный вектор, а не трех?

Четвертый компонент в векторе позволяет реализовывать перспективную проекцию, а не только отображать ортогональную проекцию. Кроме того, с помощью матрицы  $4 \times 4$  реализуются такие преобразования как сдвиги, повороты и т.д. в трехмерном пространстве.

## 1.3 Как задать другие фигуры?

## 2 Задание. Изменить масштаб кубика.

Для изменения масштаба кубика использовалась матрица вида:

$$\begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Где,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  отвечают за изменение масштаба по  $x$ ,  $y$  и  $z$  соответственно.

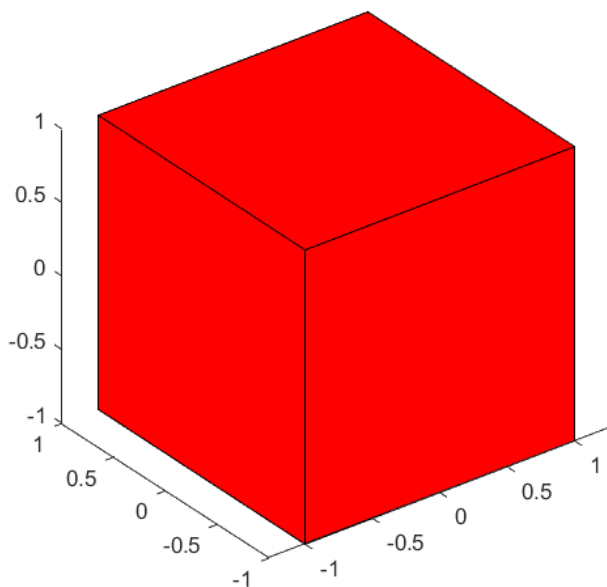


Рис. 4. Оригинальный масштаб, при  $a_i = 1$ .

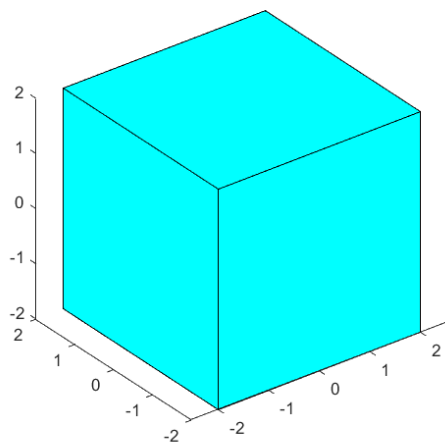


Рис. 5. Результат при  $a_i = 2$  .

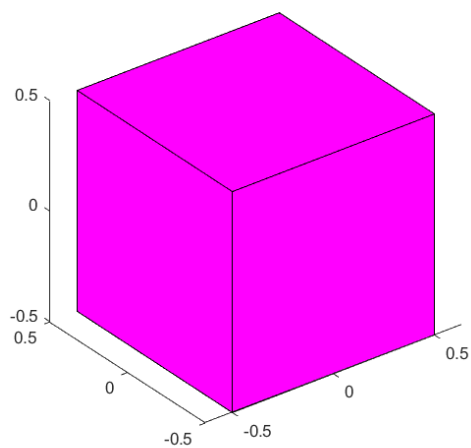


Рис. 6. Результат при  $a_i = 0.5$  .

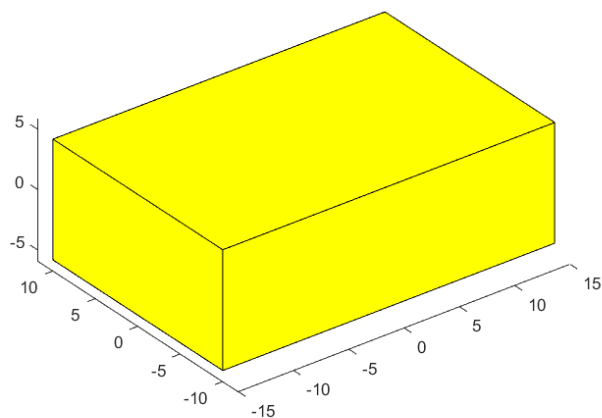


Рис. 7. Результат при  $a_1 = 15$ ,  $a_2 = 10$ ,  $a_3 = 5$ .

```
sizeMatrix = [  
    15, 0, 0, 0;  
    0, 10, 0, 0;  
    0, 0, 5, 0;  
    0, 0, 0, 1  
];  
  
newVertices = sizeMatrix * verticesCube;  
  
DrawShape (newVertices, facesCube, 'y')
```

Листинг 1. Часть кода, отвечающая за масштабирование кубика.

### 3 Задание. Переместить кубик.

Для перемещения кубика используется матрица вида:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & b_1 \\ 0 & 1 & 0 & b_2 \\ 0 & 0 & 1 & b_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Сдвиг осуществляется на вектор  $(b_1, b_2, b_3)$ , подобная операция возможна из-за наличия четвертой координаты точки, так как она умножается на  $b_i$  и складывается с  $x$ ,  $y$ , или  $z$ :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & b_1 \\ 0 & 1 & 0 & b_2 \\ 0 & 0 & 1 & b_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + b_1 \\ y + b_2 \\ z + b_3 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

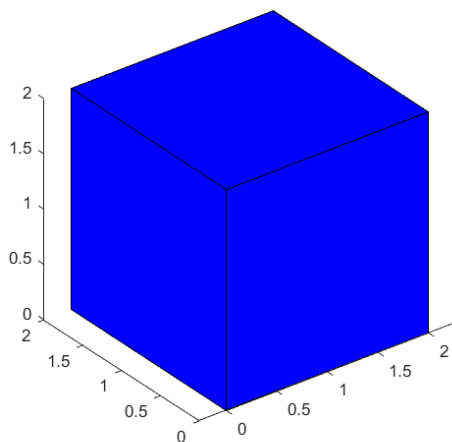
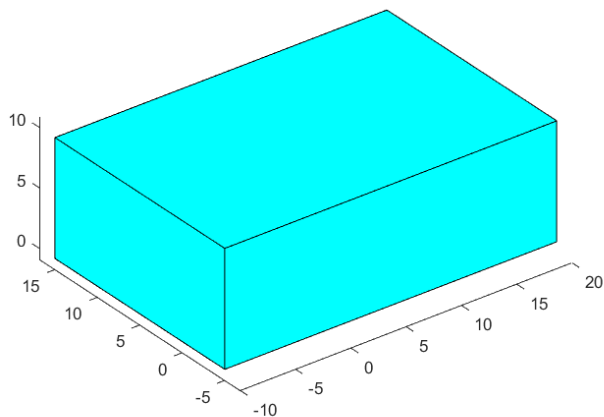


Рис. 8. Сдвиг графика на вектор  $(1, 1, 1)$ .

```
moveMatrix = [  
    1, 0, 0, 2;  
    0, 1, 0, 3;  
    0, 0, 1, 4;  
    0, 0, 0, 1  
];  
  
newVertices = moveMatrix * verticesCube;  
  
DrawShape (newVertices , facesCube , 'y')
```

*Листинг 2. Часть кода, отвечающая за перемещение кубика.*

Применим последовательно операции масштабирования и перемещения кубика:



*Рис. 9. Масштабирование при  $a_1 = 15$ ,  $a_2 = 10$ ,  $a_3 = 5$  и сдвиг графика на вектор  $(5, 5, 5)$ .*



```
moveMatrix = [  
    1, 0, 0, 5;  
    0, 1, 0, 5;  
    0, 0, 1, 5;  
    0, 0, 0, 1  
];  
  
sizeMatrix = [  
    15, 0, 0, 0;  
    0, 10, 0, 0;  
    0, 0, 5, 0;  
    0, 0, 0, 1  
];  
  
newVertices = moveMatrix * sizeMatrix * verticesCube;  
  
DrawShape (newVertices, facesCube, 'c')
```

*Листинг 3. Часть кода, отвечающая за масштабирование и перемещение кубика.*

Заметим, что для получения корректного результата важен порядок умножения матриц: сначала кубик масштабируется, а затем сдвигается, то есть  $newVertices = moveMatrix * (sizeMatrix * verticesCube) = moveMatrix * sizeMatrix * verticesCube$ .

Если сначала выполнить сдвиг, а после – масштабирование, то матрица сдвига тоже будет влиять на масштаб результата.

## 4 Задание. Выполнить вращение кубика.

Матрица вращения определена для каждой оси в 3D пространстве. Пусть угол поворота  $\phi$ .

Матрица вращения вокруг оси  $X$ :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \cos \phi - z \sin \phi \\ y \sin \phi + z \cos \phi \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Матрица вращения вокруг оси  $Y$ :

$$\begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \cos \phi + z \sin \phi \\ y \\ -x \sin \phi + z \cos \phi \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Матрица вращения вокруг оси  $Z$ :

$$\begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \cos \phi - y \sin \phi \\ x \sin \phi + y \cos \phi \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Вращение по нескольким осям может привести к *проблеме шарнирного замка*, поэтому обычно используется вращение вокруг конкретной оси, например заданную вектором  $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}\right)$ , ось должна быть задана единичным вектором.

В данной работе будем проводить вращение относительно осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ :

`phi = pi/3;`

```
rotateXMatrix = [
    1, 0, 0, 0;
    0, cos(phi), -sin(phi), 0;
    0, sin(phi), cos(phi), 0;
    0, 0, 0, 1];
```

```
newVertices = rotateXMatrix * verticesCube;
DrawShape (newVertices, facesCube, 'c')
```

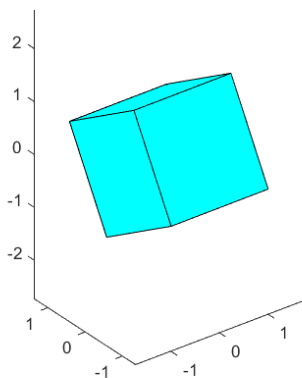


Рис. 10. Вращение кубика вокруг оси  $X$  на  $60^\circ$ .

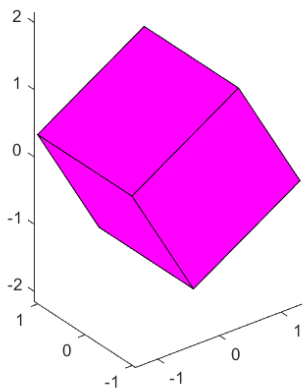


Рис. 11. Вращение кубика вокруг оси  $Y$  на  $60^\circ$ .

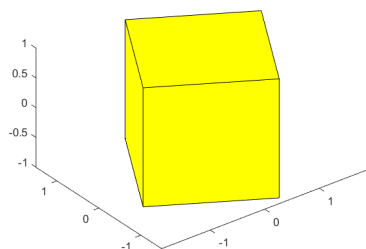


Рис. 12. Вращение кубика вокруг оси  $Z$  на  $60^\circ$ .

Листинг 4. Часть кода, вращение кубика вокруг оси  $X$  на  $60^\circ$

Построить комбинации поворотов. Относительно оси  $X$ , затем  $Y$ :

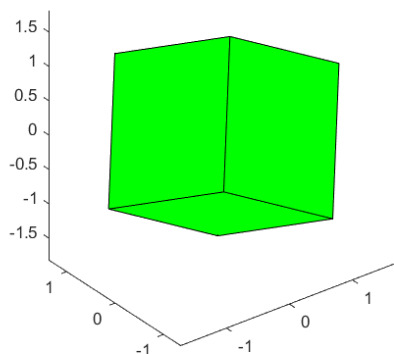
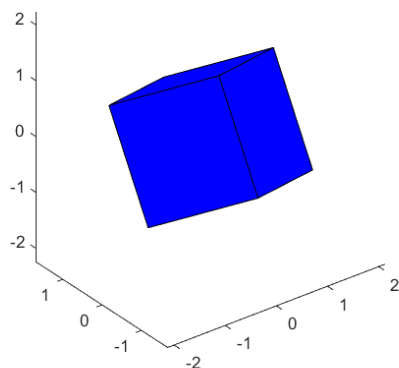


Рис. 13. Вращение кубика вокруг оси  $X$  на  $60^\circ$ , затем  $Y$  на  $30^\circ$ .

Теперь поменяем порядок:



*Рис. 14. Вращение кубика вокруг оси  $Y$  на  $30^\circ$ , затем  $X$   $60^\circ$ .*

Рисунки 13 – 14 иллюстрируют отсутствие коммутативности у преобразований поворота в трехмерном пространстве.

## 5 Задание. Выполнить вращение кубика около одной вершины.

Для того, чтобы выполнить вращение кубика около одной вершины, выполним последовательно операции перемещения кубика так, чтобы вершина, около которой будет происходить вращение оказалась в начале координат, дальше выполним поворот вокруг оси  $x$ ,  $y$  или  $z$ , после переместим кубик в исходное положение.

```
phi = pi/3;  
teta = pi/6;
```

```
rotateYMatrix = [  
    cos(teta), 0, sin(teta), 0;  
    0, 1, 0, 0;  
    -sin(teta), 0, cos(teta), 0;  
    0, 0, 0, 1  
];
```

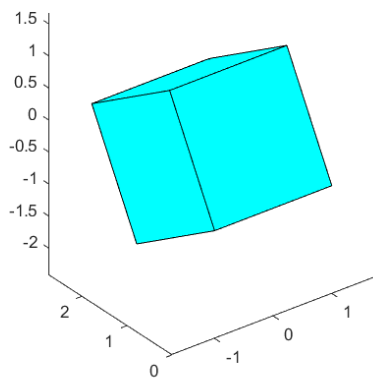
```
rotateZMatrix = [  
    cos(phi), -sin(phi), 0, 0;  
    sin(phi), cos(phi), 0, 0;  
    0, 0, 1, 0;  
    0, 0, 0, 1  
];
```

```
rotateXMatrix = [  
    1, 0, 0, 0;  
    0, cos(phi), -sin(phi), 0;  
    0, sin(phi), cos(phi), 0;  
    0, 0, 0, 1  
];
```

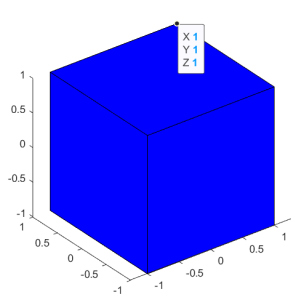
```
moveMatrix1 = [  
    1, 0, 0, 1;  
    0, 1, 0, 1;  
    0, 0, 1, 1;  
    0, 0, 0, 1  
];
```

```
moveMatrix2 = [  
    1, 0, 0, -1;  
    0, 1, 0, -1;  
    0, 0, 1, -1;  
    0, 0, 0, 1  
];  
  
newVertices = moveMatrix1 * rotateXMatrix *  
    moveMatrix2 * verticesCube;  
  
DrawShape (newVertices , facesCube , 'c')
```

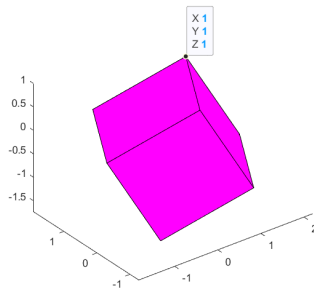
*Листинг 5. Часть кода, вращение кубика около вершины (1,1,1) вокруг оси параллельной X на  $60^\circ$*



*Рис. 15. Вращение кубика около вершины (1,1,1) вокруг оси параллельной X на  $60^\circ$ .*



a)



b)

Рис. 16. а) Исходное положение кубика, б) Вращение кубика около вершины (1, 1, 1) вокруг оси параллельной  $X$  на  $60^\circ$ , затем  $-Z$  на  $60^\circ$ .

## 6 Задание. Реализация камеры.



## **7   Задание. Реализация перспективы.**

## 8 Задание. \* Почти Minecraft.

Для визуализации был написан код на языке *Python* с использованием библиотек *Matplotlib* и *Numpy*.

Код расположен на **GitHub**.

*Отражение (симметрию) плоскости относительно прямой  $y = ax$ , в нашем случае после подстановки  $a = 2$ , получаем  $y = 2x$ . Задача – найти матрицу вида:*