

УДК 621.865.8

Чаленков Никита Игоревич, старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и системы», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

e-mail: nichalenzov@mail.sevsu.ru

Шаталова Юлия Георгиевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные технологии и системы», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

e-mail: ugshatalova@mail.sevsu.ru

Невар Галина Валерьевна, старший преподаватель кафедры «Приборостроение и транспорт», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

e-mail: gvnevar@mail.sevsu.ru

Пестрякова Анна Вячеславовна, ассистент кафедры «Информационные технологии и системы», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

e-mail: pestryakova@mail.sevsu.ru

Ильченко Алиса Юрьевна, ассистент кафедры «Информационные технологии и системы», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

e-mail: auilchenko@mail.sevsu.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ МАНИПУЛЯТОРА SCARA С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЦ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЕНАВИТА- ХАРТЕНБЕРГА НА ЯЗЫКЕ PYTHON

Аннотация. В статье рассматривается разработка программы для моделирования прямой задачи кинематики манипулятора SCARA с помощью матричных преобразований. Программная реализация метода выполнена на

языке Python с использованием библиотек NumPy, SymPy и Matplotlib. Результатами работы программы является интерфейс, который представляет инструмент с динамической 3D-визуализацией перемещения рабочего органа манипулятора. Помимо графического отображения программа выводит матрицы преобразования для каждого звена и аналитическое выражение для координат схвата.

Ключевые слова: SCARA, рабочий орган, Денавит-Хартенберг, прямая задача кинематики, python.

Chalencov Nikita Igorevich, Senior Lecturer, Department of Information Technologies and Systems, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

e-mail: nichalencov@mail.sevsu.ru

Shatalova Yulia Georgievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Information Technologies and Systems, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

e-mail: ugshatalova@mail.sevsu.ru

Nevar Galina Valerievna, Senior Lecturer, Department of Instrument Engineering and Transport, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

e-mail: gvnevar@mail.sevsu.ru

Pestryakova Anna Vyacheslavovna, Assistant, Department of Information Technologies and Systems, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

e-mail: pestryakova@mail.sevsu.ru

Ilchenko Alisa Yuryevna, Assistant, Department of Information Technologies and Systems, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

e-mail: auilchenko@mail.sevsu.ru

KINEMATICS MODELING OF A SCARA MANIPULATOR USING DENAVIT-HARTENBERG TRANSFORMATION MATRICES IN PYTHON

Abstract. The article discusses the development of a program for modeling the kinematics of a SCARA manipulator using matrix transformations. The software implementation of the method is carried out in Python using the NumPy, SymPy, and Matplotlib libraries. The program's results include an interface that provides a tool for dynamic 3D visualization of the manipulator end effector movement. In addition to graphical display, the program outputs the transformation matrices for each link and an analytical expression for the end effector coordinates.

Keywords: SCARA, end effector, Denavit-Hartenberg, forward kinematics, python.

1. Введение. Манипуляторы типа SCARA широко применяются в промышленности для операций сборки, упаковки и точного позиционирования благодаря своей высокой жесткости в вертикальном направлении и подвижности в горизонтальной плоскости. При этом возникает вопрос кинематического анализа таких манипуляторов при проектировании и программировании.

Наиболее эффективным методом при расчёте кинематики робота и планировании движения являются матрицы Денавита-Хартенберга, которые описывают положение и ориентацию звена относительно предыдущего звена [1–4].

В рамках статьи рассматривается разработка программы для моделирования кинематики манипулятора SCARA с помощью матричных преобразований и получения инструмента визуализации движения, который позволяет сократить время и стоимость разработки манипулятора, и избежать ошибок при монтаже оборудования.

2. Кинематическая модель манипулятора SCARA.

Представление Денавита-Хартенберга использует однородные матрицы преобразования для описания взаимного положения и ориентации двух соседних звеньев. Для каждой кинематической пары задаются четыре параметра:

a – длина звена.

α – угол поворота вокруг оси x относительно предыдущего звена.

d – смещение по оси z относительно предыдущего звена.

θ – угол поворота сустава вокруг оси z относительно предыдущего звена.

Причём, параметры имеют ряд особенностей. Параметры a и α всегда постоянны и обусловлены конструкцией манипуляторов. Параметры d и θ могут быть переменными или постоянными, в зависимости от сочленения. Для вращательного сочленения угол θ переменный, а смещение d постоянно, в случае поступательного – угол постоянный, параметр d переменный [5–7].

В общем виде матрица однородного преобразования имеет вид [1]:

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cos(\theta_i) & \sin(\alpha_i)\sin(\theta_i) & a_i \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cos(\theta_i) & a_i \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Итоговая матрица, связывающая все системы координат получается путём последовательного перемножения матриц однородного преобразования:

$$T_{p.o.}^0 = T_1^0 \cdot T_2^1 \cdot T_3^2 \cdot T_{p.o.}^3$$

где $T_{p.o.}^3$ – матрица преобразования, учитывающая геометрию инструмента.

После перемножения матриц получим аналитические выражения для координат инструмента:

$$\begin{cases} x = L_1 \cos(\theta_1) + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + x_{p.o.} \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y = L_1 \sin(\theta_1) + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + x_{p.o.} \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ z = L_3 - d_3 + z_{p.o.} \end{cases}$$

где L_1, L_2, L_3 – длины первого, второго и третьего звена; $x_{p.o.}, y_{p.o.}, z_{p.o.}$ –

координаты рабочего органа относительно последнего звена манипулятора.

3. Программная реализация. Программный комплекс реализован в виде класса SCARAViz на языке Python. Архитектура состоит из модуля ввода

данных, математического модуля расчёта прямой задачи кинематики, модулей визуализации, управления и анимации движения.

На рис.1 приведена схема архитектуры класса SCARAViz.

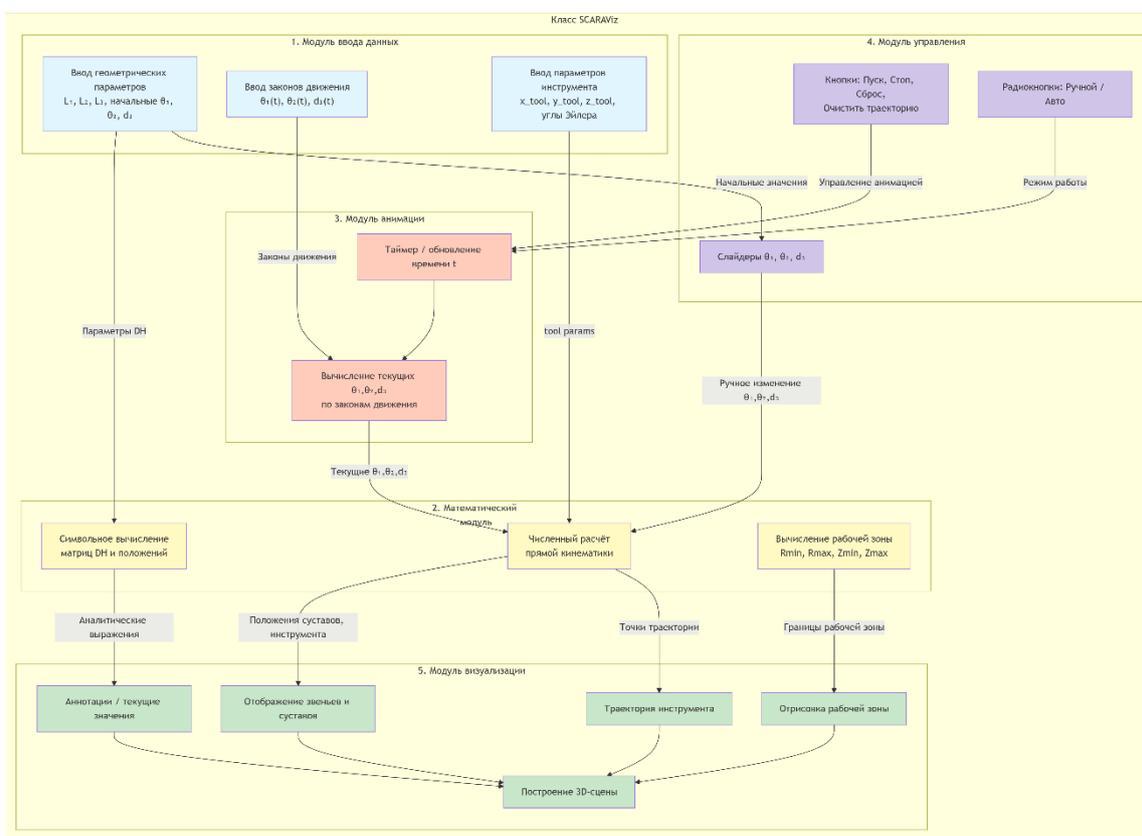


Рисунок 1 – приведена схема архитектуры класса SCARAViz

4. Результаты моделирования. В качестве тестового примера были приняты параметры, приведённые на рисунке 2.

Введите параметры манипулятора SCARA:
 Длина первого звена L1 (мм) : 50
 Длина второго звена L2 (мм) : 50
 Длина третьего звена L3 (мм, вертикальный ход) : 50
 Начальный угол θ_1 (градусы) : 45
 Начальный угол θ_2 (градусы) : 90
 Начальное смещение d3 (мм) : 36

Рисунок 2 – Параметры звеньев манипулятора SCARA

На рисунке 3 приведены результаты моделирования.

МАНИПУЛЯТОР SCARA | Время: 0.0 с
 $\theta_1=45.0^\circ$, $\theta_2=90.0^\circ$, $d_3=30.0$ мм
 Инструмент: X=0.0, Y=70.7, Z=5.0 мм

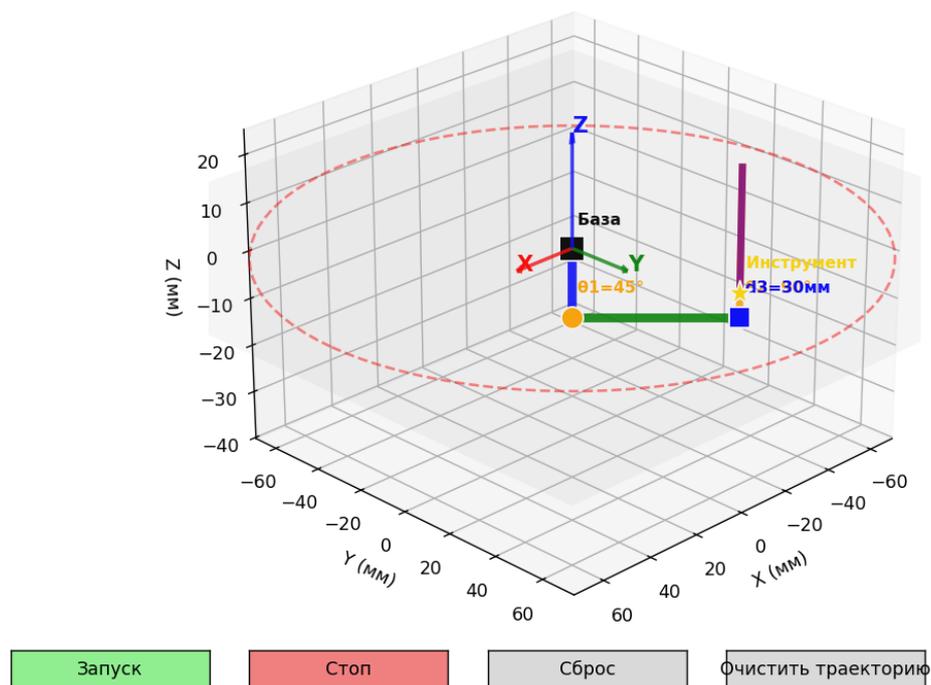


Рисунок 3 – Результаты моделирования

5. Выводы. Разработанная программа для моделирования прямой задачи кинематики манипулятора SCARA с визуализацией траектории движения рабочего органа позволяет получить как аналитические выражения положения рабочего органа, так и численные значения. Анализ траектории движения реализуется за счёт 3D-визуализации. При этом имеется ряд недостатков, связанных с отсутствием влияния динамических параметров манипулятора и проверки коллизий.

В дальнейшем планируется расширить функционал путём решения обратной задачи кинематики и учёта динамических параметров звеньев манипулятора.

Библиографический список

1. Булгаков А.Г. Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление. Серия «Библиотека инженера» / А.Г. Булгаков, В.А. Воробьёв. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2011. – 488 с.

2. Зенкевич С.Л. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами. Учебник для вузов / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 400 с.

3. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. Учебное пособие. 2-е издание, стереотипное / Ю.В. Подураев. – Москва: Машиностроение, 2007. – 256 с.

4. Filipovich O. The Analysis of the Kinematic Characteristics of the Multifunctional Module Based on the SCARA Type Manipulator / O. Filipovich, N. Chalenkov, A. Balakin // 2018 International MultiConference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018. – 2019. – P. 8602884. – DOI 10.1109/FarEastCon.2018.8602884.

5. Chalenkov N.I. Modelling of the end effector movement of the SCARAmodule taking into account the characteristics of the drives / N.I. Chalenkov, A.I. Balakin, O.V. Filipovich // Journal of Physics: Conference Series : International Conference «High-Tech and Innovations in Research and Manufacturing», HIRM 2019. – 2019. – Vol. 1353. – P. 012032. – DOI 10.1088/1742-6596/1353/1/012032.

6. Spong M.W. Robot Modeling and Control / M.W. Spong, S. Hutchinson, M. Vidyasagar. – John Wiley & Sons, New York, 2006 – 585 p.

7. Choset H. Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations / H. Choset [et al.]. – Cambridge, 2005 – 626 p.