

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАНИПУЛЯТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MATLAB

*Снисаренко С. В., Стасевич Н. А.
БГУИР, г. Минск, Беларусь, kafsu@bsuir.by*

Введение

Кинематика манипулятора изучает геометрию движения манипулятора относительно заданной абсолютной системы координат, не рассматривая силы и моменты, порождающие это движение. Задачей кинематики является аналитическое описание пространственного расположения манипулятора в зависимости от времени, и установлении связи между значениями присоединенных координат манипулятора и положением, и ориентацией его схвата в декартовом пространстве. Выделяют две основные задачи кинематики: прямая и обратная. Решение прямой задачи служит для преобразования информации о положении манипулятора из собственной координатной системы в рабочую (абсолютную), что требуется для определения координат рабочего органа манипулятора. Решение обратной задачи предназначено для вычисления требуемой пространственной конфигурации манипулятора по положению рабочего органа и является основной проблемой при планировании траектории перемещения схвата [1].

В данной статье рассмотрены вопросы решения прямой и обратной задачи кинематики для промышленного робота LR Mate 200 iD/4S.

1. Теоретические аспекты

Решение прямой и обратной задач кинематики требует описания габаритных характеристик манипулятора в форме, удобной для их анализа и записи уравнений преобразования координат. Для выполнения численных преобразований наиболее эффективным является метод однородных преобразований. Применительно к описанию манипуляционных роботов широкое распространение получило представление Денавита-Хартенберга (ДХ-представление).

Оно позволяет записать кинематику манипулятора некоторым набором матриц пространственных преобразований 4×4 и описывающих положение системы координат каждого звена относительно системы координат предыдущего звена. Это дает возможность последовательно преобразовать координаты схвата манипулятора из системы отсчета, связанной с последним звеном, в базовую систему отсчета, являющуюся инерциальной системой координат для рассматриваемой динамической системы.

Однородная матрица сложного преобразования ${}^{i-1}T_i$, называемая матрицей преобразования для смежных систем координат с номерами i и $i - 1$ формируется в виде:

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i * c\alpha_i & s\theta_i * s\alpha_i & \alpha_i * c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i * c\alpha_i & -c\theta_i * s\alpha_i & \alpha_i * s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $c\theta_i = \cos\theta_i$, $s\theta_i = \sin\theta_i$.

Однородная матрица 0T_n , определяющая положение n -ой системы координат относительно базовой системы координат, представляет собой произведение последовательности однородных матриц преобразования ${}^{i-1}T_i$ и имеет вид

$${}^0T_n = \prod_{i=1}^n {}^{i-1}T_i \quad (2)$$

В итоге получается матрица, которая задает положение и ориентацию последнего звена относительно базовой системы координат. Эта матрицу называют матрицей манипулятора и может быть записана в виде

$${}^0T_n \begin{bmatrix} n & s & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где n, s, a – векторы 3×1 ориентации рабочего органа; p – вектор 3×1 положения рабочего органа в базовой системе координат.

2. Прямая и обратная задача кинематики для шестизвенового робота в Matlab

LR Mate 200 iD/4S – компактный шестиосевой робот с короткой рукой разработан специально для ограниченных рабочих пространств и небольших станков. Робот имеет электрический сервопривод, 6-ступенчатые шарнирные соединения с возможностью переворачиваться назад для увеличения рабочего диапазона и обеспечения максимальной гибкости. Эта модель легко интегрируется, для нее доступен широкий набор дополнительных компонентов, включая системы технического зрения, а также компоненты для специализированного применения.

На рисунке 1 представлено рабочее пространство манипулятора а) и соотношение параметров ДХ-представления б).

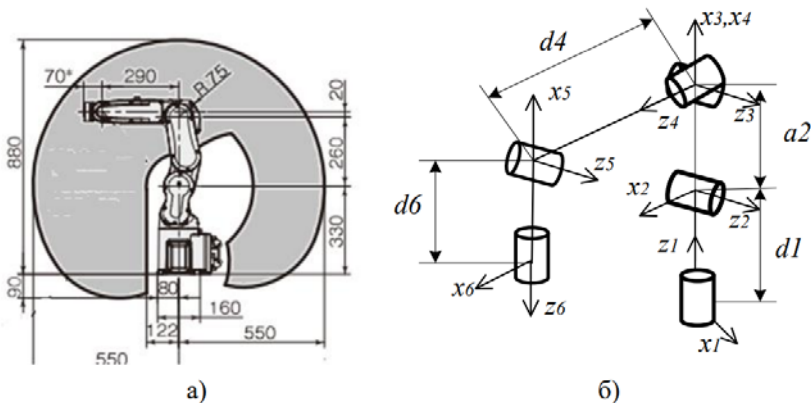


Рисунок 1 – Рабочее пространство манипулятора

В таблице 1 представлены ДХ-представления для каждого звена манипуляционного робота на основании рисунка 1.

Таблица 1

Звено	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	0	d_1	0	$-\pi/2$
2	0	0	a_2	0
3	0	0	0	$-\pi/2$
4	0	d_4	0	$\pi/2$
5	0	0	0	$-\pi/2$
6	0	d_6	0	0

Согласно уравнениям (1) и (2) получим матрицу манипулятора, которая задает положение и ориентацию схвата относительно базовой системы координат

Для разработки алгоритма движения манипулятора прежде всего необходимо изучить его кинематику, т. е. найти пространственное положение манипуляционного робота как функцию времени и соотношение между обобщенными координатами робота и положением его схвата. Цель данной работы заключается в изучении возможностей работы программного пакета MATLAB Robotics Toolbox для исследования кинематики манипулятора. Для исследования наиболее важных аспектов данной темы в работе выполнен ряд задач: построение виртуальной модели манипуляционного робота в MATLAB Robotics Toolbox для имитации его работы; решение прямой и обратной позиционной задач; планирование и построение траектории движения схвата манипуляционного робота из заданного начального положения [2].

Для решения прямой и обратной задач кинематики воспользуемся приложением пакета Matlab Robotic Toolbox [3]/

Изначально, создадим манипулятор как набор звеньев в ДХ-представлении:

```
L(1)=Link([0 330 0 pi/2], 'standart');
L(2)=Link([0 0 260 0], 'standart');
L(3)=Link([0 0 95 pi/2], 'standart');
L(4)=Link([0 290 0 -pi/2], 'standart');
L(5)=Link([0 0 0 pi/2], 'standart');
L(6)=Link([0 70 0 0], 'standart');
```

Robot=SerialLink(L)

Результатом выполнения команд является сформированный объект Robot.

Для решения прямой задачи кинематики необходимо задать начальные значения углов

qf=[0 0 0 0 0];

Метод *fkine(q_i)* позволяет получить решение прямой задачи кинематики, а именно однородную матрицу, определяющую положение 6 системы координат относительно базовой системы координат:

Tf=Robot.fkine(qf)

Tf =	1	0	0	355
	0	-1	0	0
	0	0	-1	-30
	0	0	0	1

Обратная позиционная задача гораздо чаще применяется на практике, чем прямая. Она заключается в нахождении обобщенных координат всех звеньев при заданном положении и ориентации схвата. В большинстве случаев данная задача имеет несколько решений, т. е. существует более одной конфигурации звеньев манипулятора, при которой могут быть достигнуты желаемое положение и ориентация схвата. Вследствие этого будут существовать множество комбинаций обобщенных координат, являющихся решениями обратной позиционной задачи. Решается данная задача в MATLAB Robotics Toolbox при помощи команды *ikine(T, q0)*. На вход данной функции поступают: матрица однородного преобразования T (T_f – из решения прямой задачи кинематики), в которой находится информация о заданном положении и ориентации схвата; q_0 – вектор обобщенных координат, описывающий начальное положение манипулятора. В результате применения метода *ikine(T_f,q₀)* получено решение обратной позиционной задачи в виде:

q0 = -1.5708 -1.5708 0 0 1.5708 0

q=Robot.ikine(Tf,q0); q = 0 0 0 0 0 0

Для более удобного и наглядного исследования кинематики манипуляционного робота целесообразно использовать 3d-модель робота с возможностью изменения его характеристик. Для этой цели используется внутренний пакет GUIDE (рис. 2). Для ввода исходных данных, при которых ищутся решения прямой и обратной позиционной задач, используются элементы Teach. Таким образом, при решении прямой позиционной задачи в поля элементов Teach в столбце вектора q вводятся исходные данные обобщенных координат звеньев манипулятора.

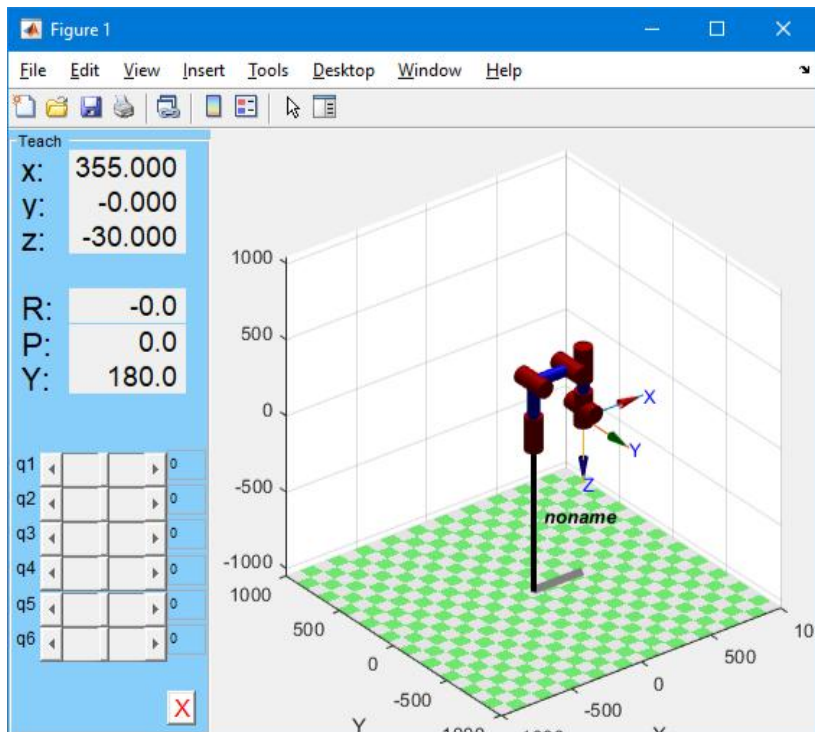


Рисунок 2 – Среда GUIDE

Заключение

MATLAB Robotics Toolbox в полной мере подходит для моделирования работы манипуляционных роботов, кинематического ана-

лиза. С помощью дополнительных библиотек пакета можно визуализировать и отследить траекторию робота, а также ускорить процесс расчета прямой и обратной задач кинематики. MATLAB Robotics Toolbox позволяет решить их с достаточно высокой скоростью и легкостью. Помимо исследования кинематики, которое непосредственно проводилось в данной работе, программа также дает возможность изучить влияние динамических характеристик. Данный пакет в силу своих возможностей очень хорошо подходит в качестве базы для изучения основ робототехники студентами. Преимущество пакета заключается в том, что существует возможность внедрять в пакет свой код программы для управления манипулятором. Однако были выявлены и некоторые недостатки данного пакета, например, невозможность вывода нескольких решений обратной позиционной задачи при ее неоднозначности. Таким образом, программный пакет MATLAB Robotics Toolbox может быть использован как для обучения, так и для моделирования работы реальных роботов в учебном процессе.

Список литературы:

1. Шахинпур М. Курс робототехники. М.: Мир – 1990. – 527 с.
2. Егоров Е.Е. Моделирование работы манипуляционного робота в программном пакете Matlab Robotics Toolbox. Политехнический молодежный журнал, 2020, No 01(42). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-01-567>
3. Corke P. Robotics toolbox. petercorke.com: веб-сайт. URL: <http://petercorke.com/wordpress/toolboxes/robotics-toolbox> (дата обращения: 03.05.2021).