

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ СЕМИЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

Е.С. Зеленьюк, магистрант

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(Россия, г. Москва)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-5-2-89-94

Аннотация. В статье рассматривается вопрос, связанный с решением прямой задачи кинематики для семизвеного манипулятора. Автор приводит определение понятия «манипулятор», выделяет основную проблему проектирования роботов-манипуляторов, подчеркивает предназначение и особенности сервисных роботов. Также в статье приводится пример и результаты решения исследуемой задачи посредством использования метода построения кинематической модели и системы координат, предложенный Дж. Деневитом и Р. Хартенбергом.

Ключевые слова: робототехника, манипулятор, прямая задача кинематики, прямая позиционная задача, метод Деневита-Хартенберга.

Манипулятор – механизм для управления пространственным положением объектов, конструктивных узлов, деталей. Основной проблемой проектирования роботов-манипуляторов является система управления. Главным источником возникновения трудностей является преимущество роботов – универсальность. Манипуляторы, как правило, не создают для выполнения конкретной технологической операции. Однако, даже для заранее известных видов операции, необходимо выбирать траекторию движения и возможные ориентации рабочего органа. Решение данной задачи необходимо для проектирования системы управления для сервисного двурукого робота. Сервисная область робототехники, занимается созданием роботов, способных взаимодействовать с людьми и обеспечивать им социальную поддержку. Роботы предназначены для оказания различных услуг людям, напри-

мер, в медицине, образовании, гостиничном бизнесе. Одной из отличительной особенности сервисного робота является наличие антропоморфных характеристик: голова, две руки, габариты пропорциональны телу человека.

- робота можно интегрировать в рабочее пространство адаптированное под человека;

- робот может управлять объектами взаимодействия, как человек;

- робот с двумя руками занимает меньше пространства, чем два однорукких манипулятора;

- задачи с взаимодействием с несколькими объектами легче оптимизировать;

- антропоморфный робот лучше воспринимается человеком.

Таким образом, проектируемый двурукий робот, имеет четырнадцать степеней свободы.

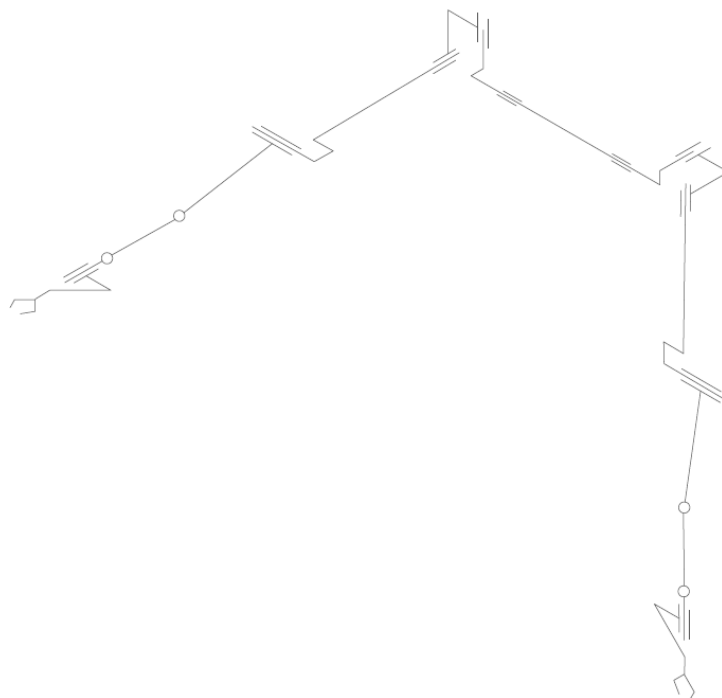


Рис. 1. Антропоморфный двурукий сервисный робот

Для управления требуется решить прямую задачу кинематики, однако для аппроксимации рассмотренной задачи, для исследования решения будет использоваться правая рука-манипулятора. На кинематической схеме (рис. 1) в пятой степени подвижности используется параллельный механизм, отображенный парой сферических шарниров, однако в физической модели робота в данных степенях отсутствует вращательная ось по направле-

нию к схвату робота, поэтому, упрощая кинематическую схему, получим два вращательных шарнира (рис. 2)

Алгоритм решения прямой задачи кинематики по методу Деневита-Хартенберга можно применить к различным видам манипуляторов. В данной работе в качестве примера выступает семизвенный робот манипулятор с вращательными парами в сочленениях.

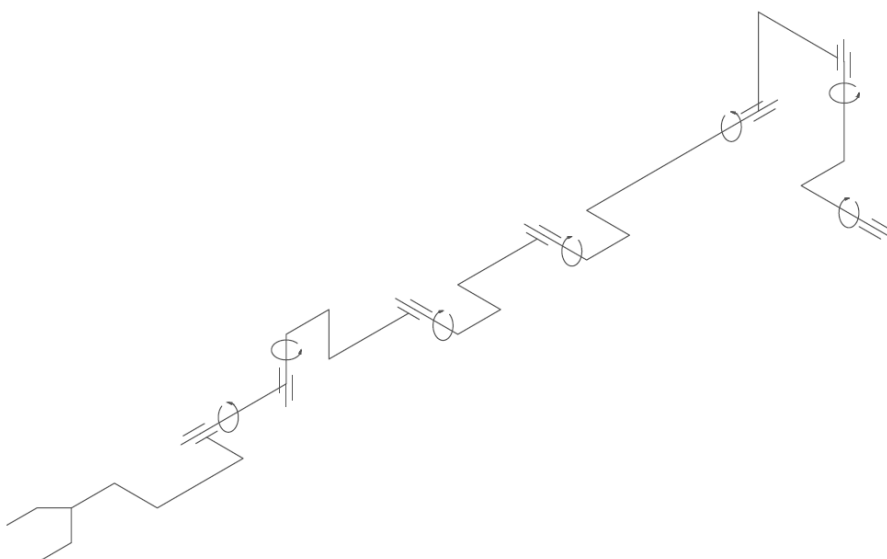


Рис. 2. Семизвенный манипулятор с вращательными степенями подвижности

Цель прямой позиционной задачи вычислить положение и ориентацию конечного звена манипулятора при известных обобщенных координатах робота. В трехмерном пространстве положение тела можно задать с помощью трех линейных координат и тремя углами поворота (крен, тангаж, рыскание). Конкретизируя задачу для данного примера: найти координаты схвата робота в трехмерном пространстве, задавая углы поворота для каждого сочленения.

Метод Деневита-Хартенберга заключается в построении кинематической модели манипулятора с N степенями подвижности с формировкой однородных матриц преобразования, описывающих положение системы координат каждого звена относительно системы координат предыдущего звена робота. Также данный метод использует всего четыре параметра преобразова-

ния, в свою очередь, в данном примере используются все шесть.

Данный метод можно описать в виде алгоритма:

1. Построение абсолютной системы координат.

Построить правую ортогональную систему координат $X_0Y_0Z_0$, направив Z_0 вдоль оси первого сочленения в направлении схвата.

2. Построение оси Z_i

Направить ось Z_i вдоль оси $(i + 1)$ -го шарнира. При $i = N$ (для конечного звена) выберем ось Z_N в направлении оси Z_{N-1}

3. Построение начала i -й системы координат.

Выбрать начало i -й системы координат в точке пересечения осей Z_{i-1} и Z_i или в точке пересечения оси Z_i и общей нормали к осям Z_{i-1} и Z_i (если оси Z_{i-1} и Z_i не пересекаются).

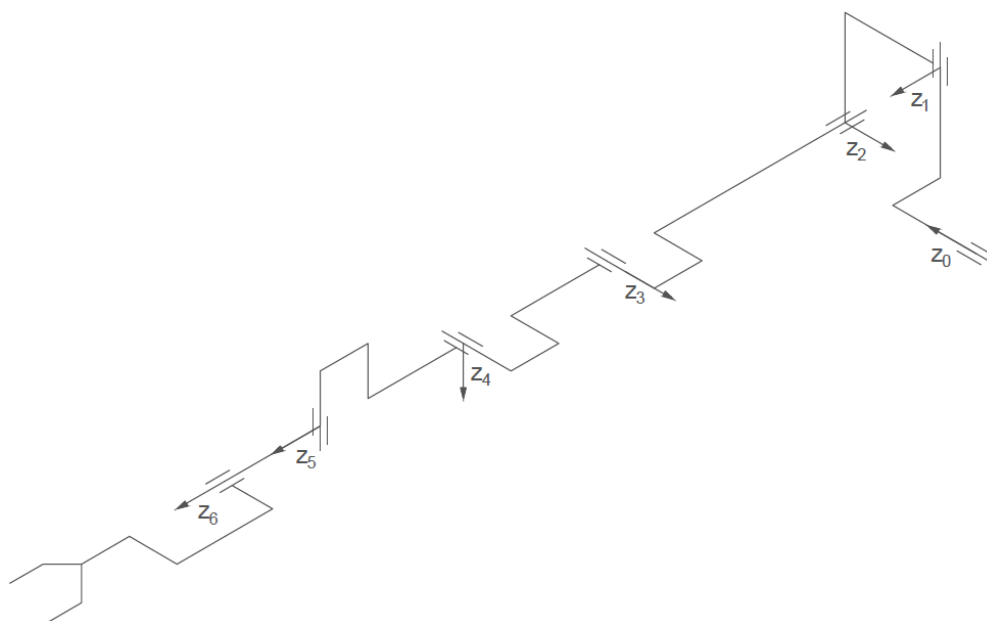
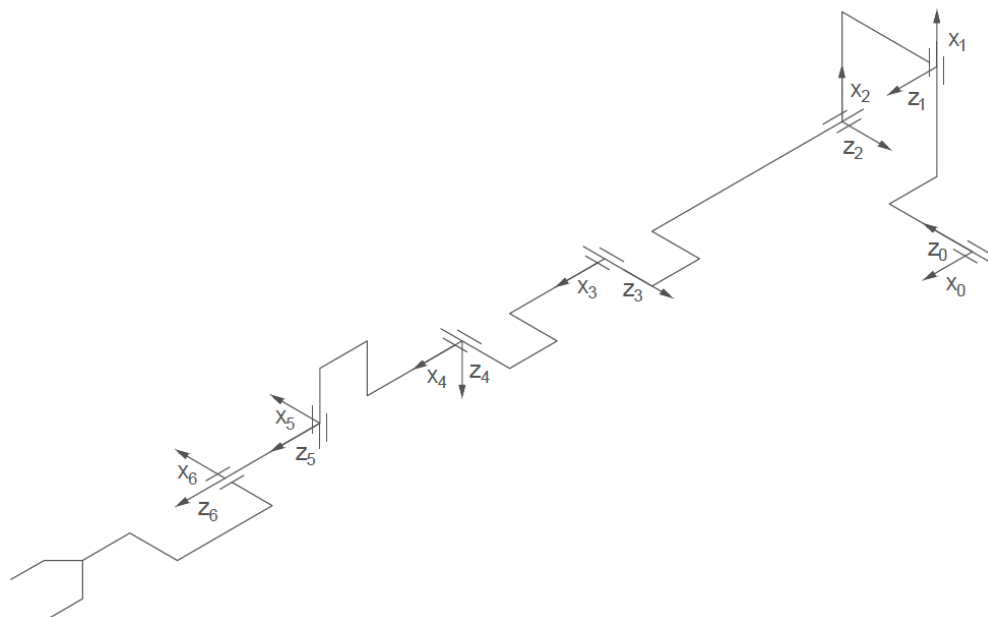


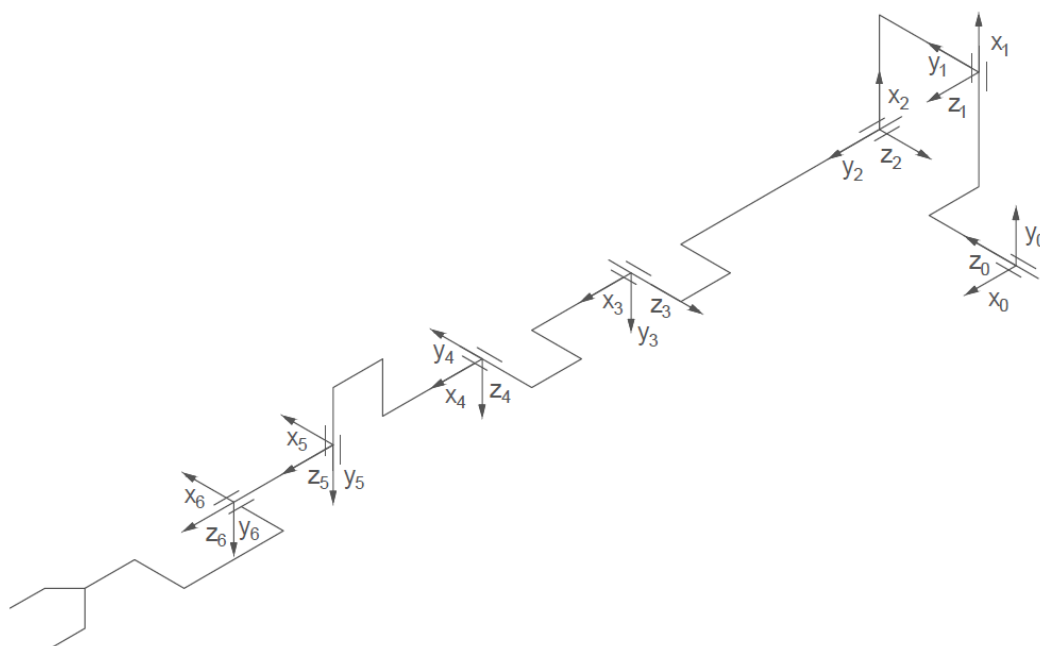
Рис. 3. Построение осей Z_i

4. Построение оси X_i .

Направить ось X_i перпендикулярно к оси Z_{i-1} , также они должны пересекаться.

Рис. 4. Построение осей X_i 5. Построение оси Y_i .

Направить ось Y_i так, чтобы полученная в результате система координат $X_iY_iZ_i$ была правосторонней.

Рис. 5. Построение осей Y_i

6. Нахождение параметров.

Нахождение параметра d_i . Данный параметр равен расстоянию от начала $(i - 1)$ -й системы координат до точки пересечения осей Z_{i-1} и X_i , измеренному в направлении оси Z_{i-1} . Если i -ое сочленение телескопическое, то d_i – обобщённая координата (аналогично для других параметров)

7. Нахождение параметра a_i . Данный параметр равен сдвигу вдоль оси X_{i-1}

8. Нахождение параметра m_i . Данный параметр равен сдвигу вдоль оси Y_{i-1}

9. Нахождение параметра Q_i . Данный параметр равен углу поворота оси X_{i-1} вокруг оси Z_{i-1} до ее совпадения с осью X_i . Если i -ое сочленение вращательное, то Q_i

является обобщенной координатой (аналогично для других параметров)

10. Нахождение параметра α_i . Данный параметр равен углу поворота вокруг оси X_{i-1}

d_i	$d1$					$d6$	$d7$
a_i	$a1$			$a4$			
Q_i	$q1+\pi/2$		$\pi/2$	$q4$	$\pi/2$		$q7$
α_i		$q2+\pi/2$		$-\pi/2$			
m_i		$m2$	$m3$				
φ_i	$\pi/2$		$q3$		$q5+\pi/2$	$q6$	

Для решения поставленной задачи необходимо связать базовую систему координат с конечной, связанную с конечным звеном манипулятора. Для определения данных систем относительно друг друга требуется ввести матрицы однород-

11. Нахождение параметра φ_i . Данный параметр равен углу поворота вокруг оси Y_{i-1}

Таким образом были получены параметры поворота и сдвига для семизвенного манипулятора:

ного преобразования A_n . Данная матрица регулирует линейное смещение и поворот системы координат одной относительно последующей. Введем матрицы поворота размера 4x4:

$$R_{y\varphi} := \begin{pmatrix} c\varphi & 0 & s\varphi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s\varphi & 0 & c\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} R_{zQ} := \begin{pmatrix} cQ & -sQ & 0 & 0 \\ sQ & cQ & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} R_{x\alpha} := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\alpha & -s\alpha & 0 \\ 0 & s\alpha & c\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Где $R_{y\varphi}$ – матрица поворота относительно оси Y , R_{zQ} – матрица поворота относительно оси Z , $R_{x\alpha}$ – матрица поворота относительно оси X , $c = \cos()$, $s = \sin()$

Введем матрицы линейного смещения размера 4x4:

$$T_{xa} := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} T_{zS} := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{ym} := \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Где T_{zS} – матрица смещения вдоль оси Z , T_{xa} – матрица смещения относительно оси a , T_{ym} – матрица смещения относительно оси Y .

Матрица однородного преобразования для первого сочленения имеет вид:

$A_1 = R_{zQq} \times T_{xa} \times T_{zS} \times R_{y\varphi} \times R_{zQ}$, где R_{zQq} – матрица поворота по обобщенной координате

Конечная матрица преобразований для всех сочленений имеет вид:

$$T = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7$$

В результате определив итоговую матрицу можно определить координаты и ориентацию конечного звена манипулятора в пространстве.

Библиографический список

1. Зенкевича С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами: Учебник для вузов. 2-е изд., исправ. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 480 с.
2. ГОСТ Р ИСО 8373-2014. Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения. Введ. впервые; дата введ. 01.07.1991. – М.: Стандартиформ, 1991. – 15 с.
3. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. М.: Высшая школа, 1986. 260 с.
4. Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А. Методы управления робототехническими приложениями: учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 108 с.

SOLVING A DIRECT KINEMATICS PROBLEM FOR A SEVEN-DIGIT MANIPULATOR

E.S. Zelenyuk, *Graduate Student*
Bauman Moscow State Technical University
(Russia, Moscow)

Abstract. *The article considers the question related to the solution of the direct kinematics problem for a seven-link manipulator. The author gives a definition of the concept of "manipulator", highlights the main problem of designing robotic manipulators, emphasizes the purpose and features of service robots. The article also gives an example and the results of the solution of the problem under study by using the method of building a kinematic model and coordinate system, proposed by J. Denavit and R. Hartenberg.*

Keywords: *robotics, manipulator, direct kinematics problem, direct positional problem, Denavit-Hartenberg method.*