Научная статья
Original article
УДК 681.51

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МАНИПУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ MATLAB

RESEARCH ON THE TRAJECTORY PLANNING OF MANIPULATOR BASED ON MATLAB

Ван Сун, студент факультета специального машиностроения, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, г. Москва. 419825908@qq.com
Гао Хань, студент факультета специального машиностроения, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, г. Москва. gaokh@student.bmstu.ru

Wang Song, student of the Faculty of Special Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow. 419825908@qq.com
Gao Han, student of the Faculty of Special Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow. gaokh@student.bmstu.ru

Аннотация. В статье исследуется управление движением процесса отбора проб манипулятора. Сначала, для создания реалистичной и достоверной модели манипулятора использовался модуль Simscape и инструмент Robotics Toolbox в Matlab для построения кинематической модели манипулятора и добавления таких функций, как визуализация конца манипулятора, соответственно, для проверки и создания реалистичной и достоверной модели манипулятора. Затем используйте инструменты Robot System Toolbox для моделирования, включая интерполяцию

трапециевидного ускорения и замедления, полиномиальную интерполяцию, интерполяцию B-сплайнов и другие часто используемые методы интерполяции. Наконец, сравниваются кривые подгонки угла, угловой скорости и углового ускорения каждого шарнира при нескольких действиях выборки, и выбирается алгоритм сплайновой кривой пятого порядка для планирования траектории в системе пространственных координат шарнира манипулятора. Действие выборки: После первых трех шарниров перемещаются в заданное положение, четвертый шарнир поворачивается на 180 градусов для завершения процесса отбора проб. Результаты показывают, что траектория операции захвата манипулятора является плавной, а скорость, ускорение и ускорение каждой совместной траектории остаются непрерывными, что может удовлетворить потребности практического применения и обеспечить соответствующую поддержку для планирования движения манипулятора.

Abstract. The article examines the motion control of the sampling process of the manipulator. First, to create a realistic and reliable model of the manipulator, the Simscape module and the Robotics Toolbox tool in Matlab were used to build a kinematic model of the manipulator and add functions such as visualizing the end of the manipulator, respectively, to test and create a realistic and reliable model of the manipulator. Then use the Robot System Toolbox tools for modeling, including trapezoidal acceleration and deceleration interpolation, polynomial interpolation, B-spline interpolation and other commonly used interpolation methods. Finally, the adjustment curves of the angle, angular velocity and angular acceleration of each hinge are compared with several sampling actions, and a fifth-order spline curve algorithm is selected for trajectory planning in the spatial coordinate system of the manipulator hinge. Sampling action: After the first three hinges are moved to the set position, the fourth hinge rotates 180 degrees to complete the sampling process. The results show that the trajectory of the manipulator capture operation is smooth, and the speed, acceleration and acceleration of each joint trajectory remain continuous, which can meet the needs of practical application and provide appropriate support for planning the movement of the manipulator.

Ключевые слова: метод параметров Д–Х, simscape, Robotics Toolbox, Robot System Toolbox, полиномиальная интерполяция, планирование траектории
Keywords: D-H parameter method, Simscape, Robotics Toolbox, Robot System Toolbox, polynomial interpolation, trajectory planning

Введение

В настоящее время манипуляторы широко используются в обрабатывающей промышленности, и требования к автоматизации в обрабатывающей промышленности становятся все выше и выше, поэтому требования к точности работы и плавности автономного захвата манипулятора также становятся все выше и выше.Текущие исследования хватательного робота в основном направлены на то, как заставить его точно планировать пространственную траекторию на основе целевого положения и непрерывно и стабильно двигаться по траектории. Среди них алгоритм, который использует комбинацию параболы, полинома и различных кривых, является основным алгоритмом планирования траектории роботизированной руки.

В качестве объекта исследования в этой статье используется manipulator_4, манипулятор с четырьмя степенями свободы, разработанный им самим, как показано на рисунке 1. Сначала программное обеспечение Solidworks используется для создания файла URDF манипулятора, а затем он импортируется в Simscape Matlab, и создается модель манипулятора с визуализацией конечного положения ; Сначала используйте программное обеспечение Solidworks для создания файла URDF манипулятора, затем импортируйте его в Simscape и создайте модель манипулятора с визуализацией конечного положения; используйте инструмент Robotics Toolbox для построения кинематической модели манипулятора с использованием метода параметров Д–Х и добавьте такие функции, как отображение конечного положения; объедините Simscape и Robotics Toolbox для проверки модели манипулятора и обеспечения надежной модели манипулятора для следующего исследования планирования траектории. Затем выполняется

анализ кинематики в соответствии с требованиями функции захвата, и набор инструментов robot system toolbox используется для моделирования различных методов интерполяции, включая трапециевидные траектории, полиномиальные траектории, интерполяцию вращения и другие распространенные методы. Наконец, сравниваются несколько методов выборки и получаются подходящие кривые угла, угловой скорости и углового ускорения каждого шарнира манипулятора. Алгоритм сплайновой кривой пятого порядка выбирается для планирования траектории в системе пространственных координат шарнира манипулятора. Действие выборки заключается в следующем: После первого три шарнира перемещаются в заданное положение, четвертый шарнир поворачивается на 180 градусов для завершения процесса отбора проб.Результаты показывают, что траектория операции захвата манипулятора является плавной, а скорость, ускорение и ускорение каждой совместной траектории остаются непрерывными, что может удовлетворить потребности практического применения и обеспечить соответствующую поддержку для планирования движения манипулятора. Это исследование обеспечивает соответствующую теоретическую основу для дальнейших исследований манипуляторов.

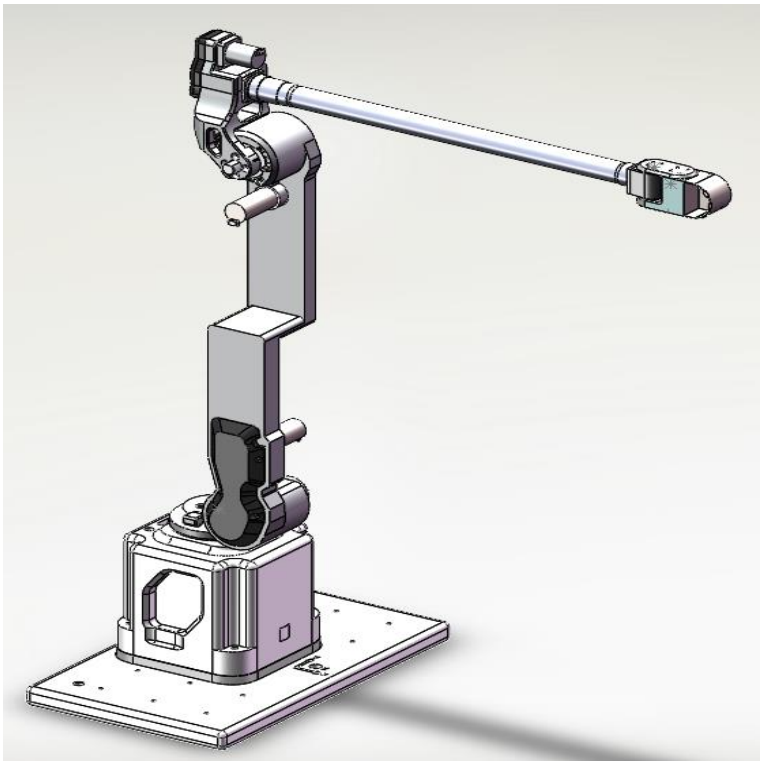


Рис. 1 manipulator_4

1. Кинематический анализ роботов с четырьмя степенями свободы

Манипулятор с четырьмя степенями свободы можно рассматривать как ряд жестких тел, соединенных шарнирами. Эти жесткие тела часто называют шатунами. Шатуны имеют четыре основных атрибутивных параметра.Все четыре шарнира являются вращающимися шарнирами, а четвертый шарнир управляет смыканием челюстей манипулятора.Как показано на рисунке 2, это упрощенная схема системы координат, установленной в соответствии со стандартной системой обозначений Д–Х, и структура корпуса робота с четырьмя степенями свободы.В соответствии со структурой роботизированной руки и системой координат шатуна могут быть получены параметры шатуна и переменные соединения, как показано в таблице 1.

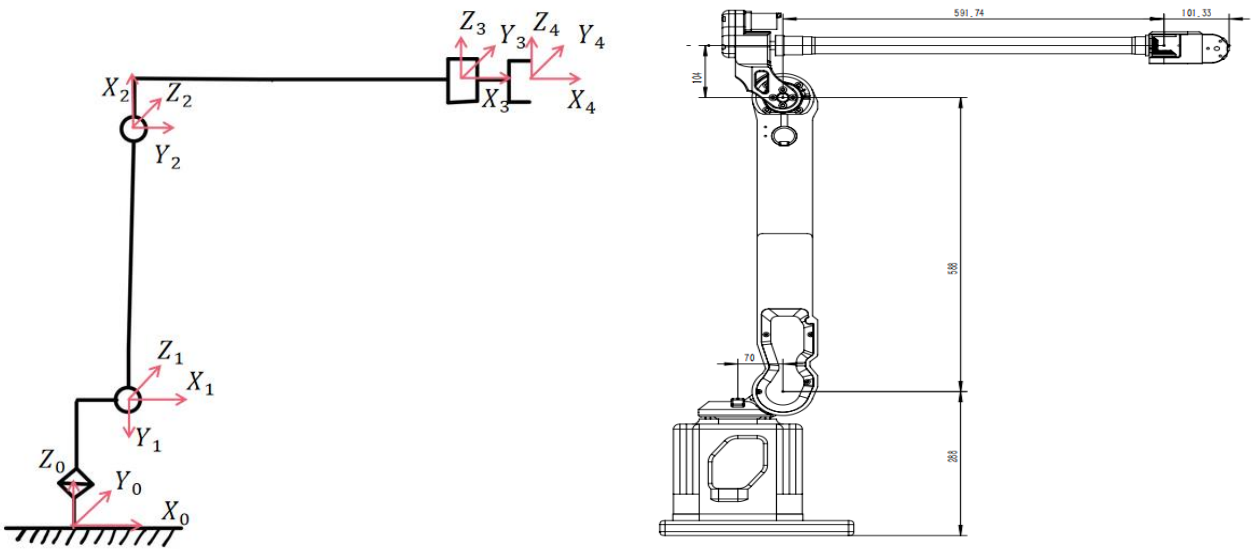


Рис. 2 Системы координат Денавита-Хартенберга и размер манипулятора

Таблица 1 – Значения параметров Денавита-Хартенберга

Звено	$\theta_i(°)$	$d_i(mm)$	$a_i(mm)$	$a_i(°)$
1	0	288	70	-pi/2
2	-pi/2	0	598	0
3	pi/2	0	591.74	pi/2

4	0	104	101.33	0

2. Кинематическое моделирование и верификация моделирования

Построение модели манипулятора является первой задачей, которую необходимо выполнить для моделирования. это исследование объединит модуль Simscape и Robotics Toolbox для проверки модели манипулятора и обеспечения надежной модели для следующего исследования планирования траектории.

A. Сначала используйте программное обеспечение Solidworks для создания файла URDF манипулятора, затем импортируйте его в Simscape и создайте модель манипулятора с визуальным положением конца, как показано на рисунке 3.

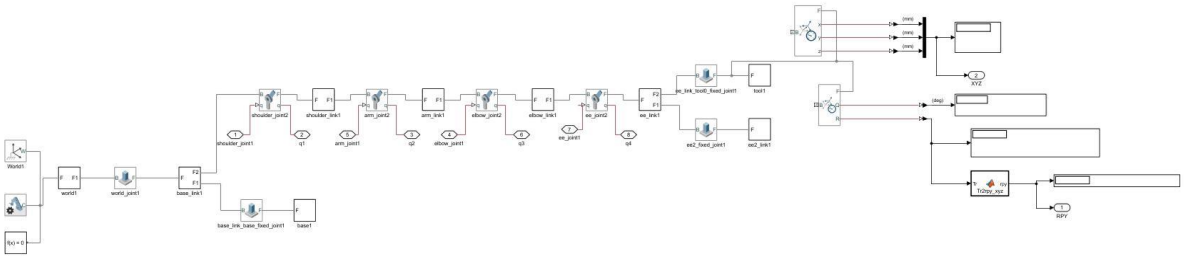


Рис. 3 Модель манипулятора с визуализацией положения конца

B. С помощью инструмента Robotics Toolbox создаются четыре соединения на основе параметров D-H в таблице 1, а затем функции link и SerialLink, предоставляемые toolbox, используются для органичного объединения каждого соединения для реализации конструкции всего манипулятора. Рисунок 4 - показана исходная модель положения манипулятора, а верхний левый угол - это положение начала координат системы координат конечного инструмента, единица измерения (мм) ;

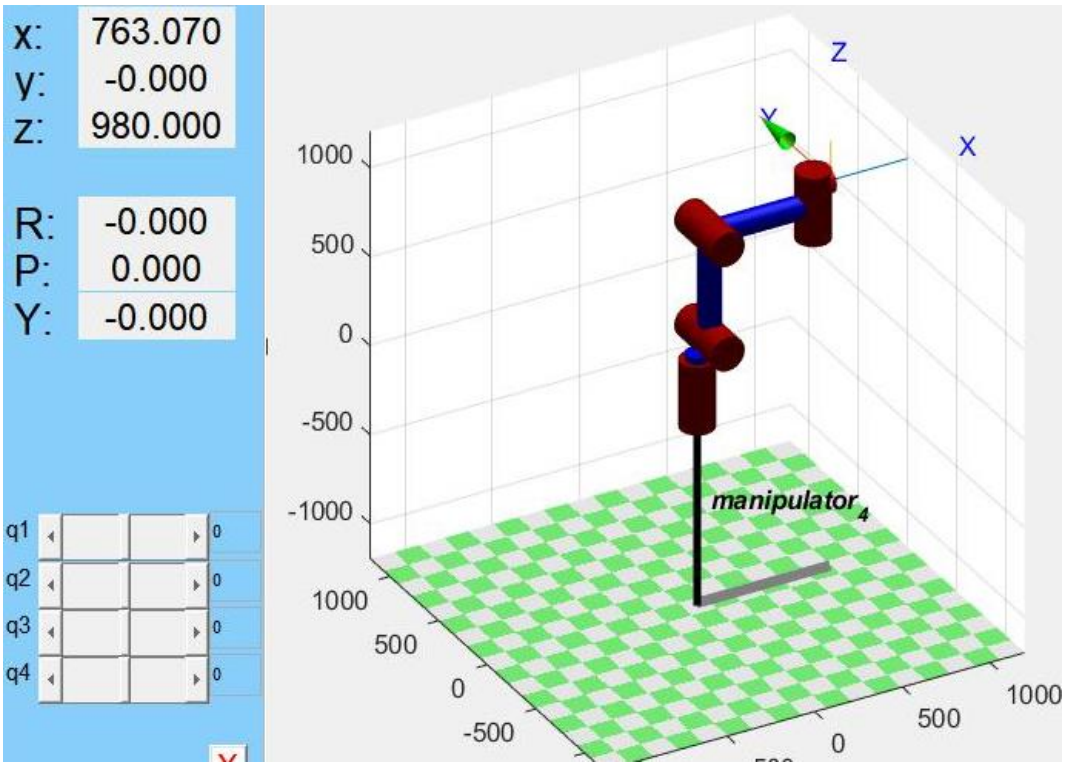


Рис. 4 Модель манипулятора с визуализацией положения конца

C. В двух модулях Simscape и Robotics Toolbox четыре соединения вводятся для моделирования под углом 30 градусов. Результаты показаны на рисунке 5. Данные о положении, матрице вращения и RPY точно такие же.

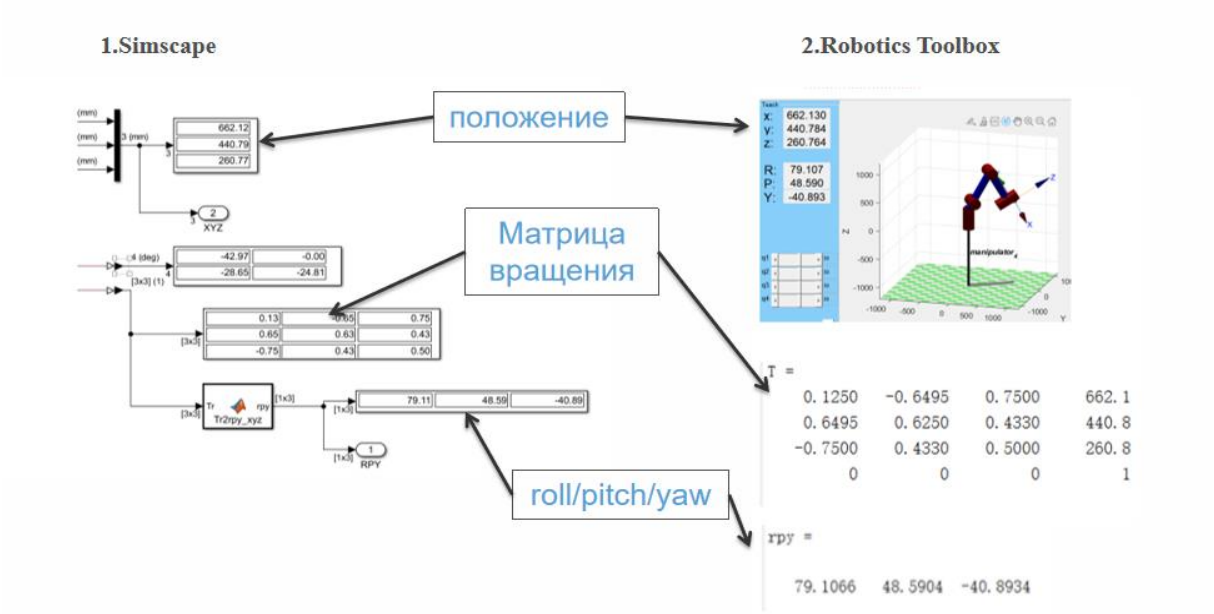


Рис. 5 Результаты моделирования двумя способами

После того, как модель манипулятора будет создана, модифицирована и проверена, я могу предоставить надежную модель манипулятора для следующего исследования планирования траектории.

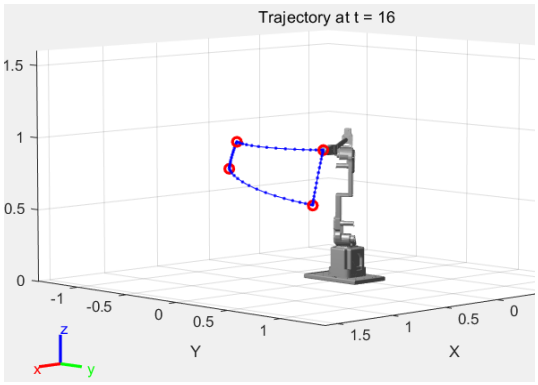
3. Планирование траектории манипулятора

Планирование траектории манипулятора делится на декартово планирование пространственной траектории и совместное планирование пространственной траектории. Объем вычислений при совместном планировании пространственной траектории относительно невелик, а производительность в реальном времени выше. Обычно используемые методы основаны на полиномиальной интерполяции и линейной интерполяции. Кривая изменения траектории, скорости и ускорения, связанная со временем, на основе полиномиальной интерполяции является более плавной и непрерывной, то есть точность траектории выше.

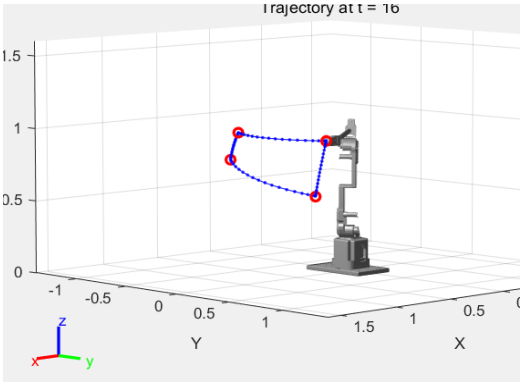
В этой статье я буду использовать два вида планирования траектории для полиномиальной интерполяции, линейной интерполяции, интерполяции трапециевидного ускорения и замедления и т.д., Чтобы смоделировать роботизированную руку, спроектировать траекторию положения, состоящую из временных рядов угла, скорости и ускорения каждого сустава манипулятора, наблюдать и проанализируйте преимущества и недостатки различных методов интерполяции и выберите наиболее подходящий метод планирования траектории для этой конструкции, чтобы конечный эффектор манипулятора мог максимально следовать установленной траектории положения для достижения заданных функций.

В соответствии с моделью манипулятора, установленной в Robot Toolbox, алгоритм прямого решения используется для установки угла каждого соединения для получения положения и положения конечного эффектора, в этом исследовании были установлены и смоделированы четыре точки трека с помощью следующих алгоритмов интерполяции.

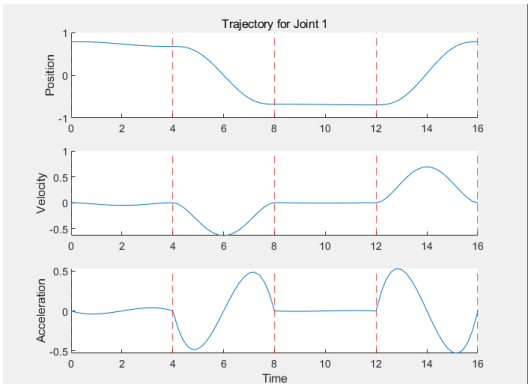
Сравнение пятикратной полиномиальной интерполяции, интерполяции ускорения и замедления Т-типа и интерполяции В-сплайна в объединенном пространстве.



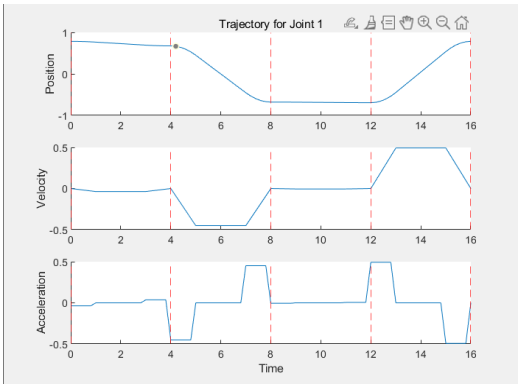
(a)



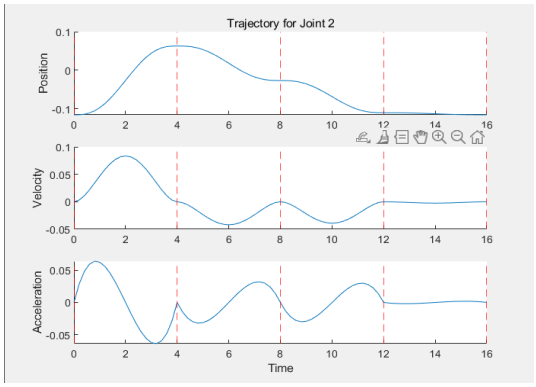
(a)



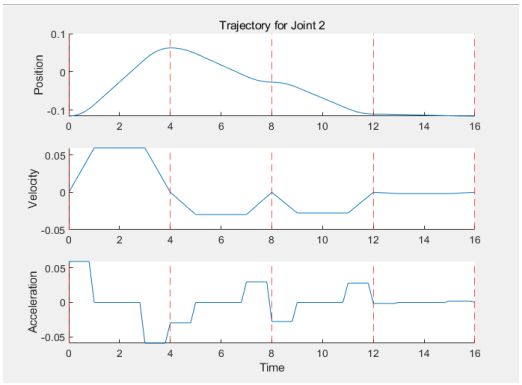
(b) Joint 1



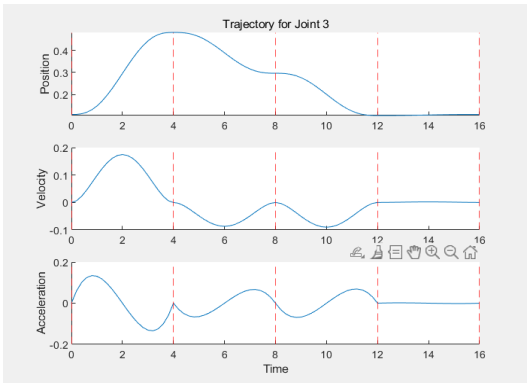
(b) Joint 1



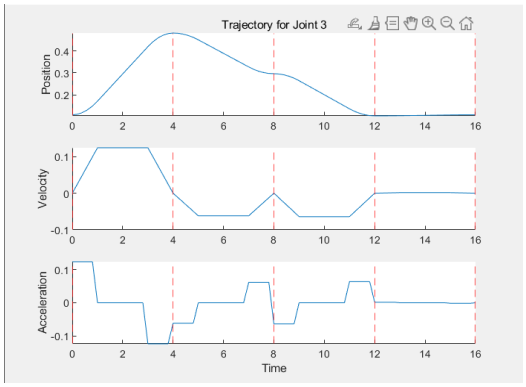
(c) Joint 2



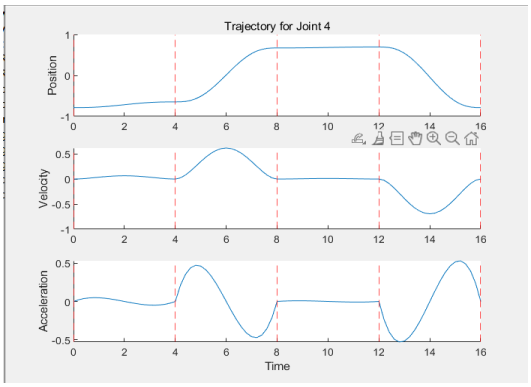
(c) Joint 2



(d) Joint 3

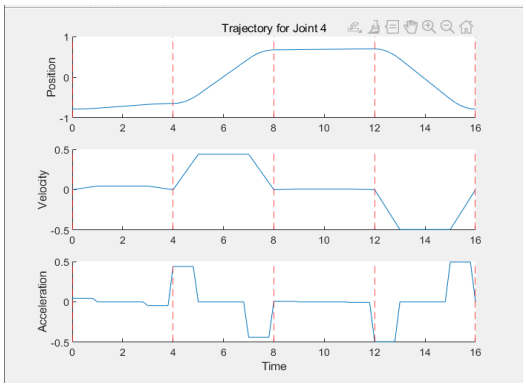


(d) Joint 3



(e) Joint 4

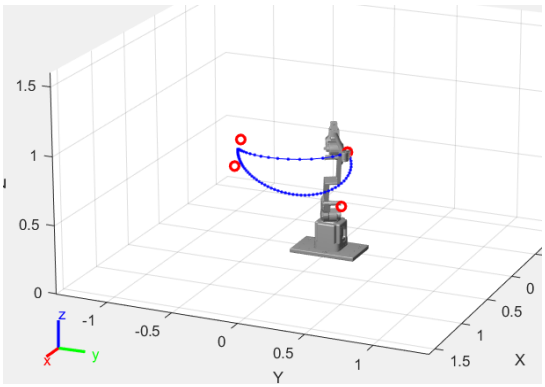
Рис. 6 Пятикратная полиномиальная интерполяция



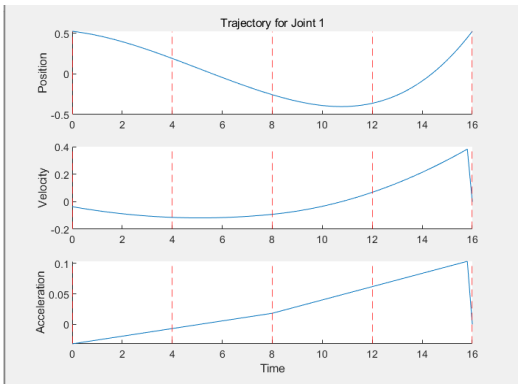
(e) Joint 4

Рис. 7 Интерполяция ускорения и замедления T-типа

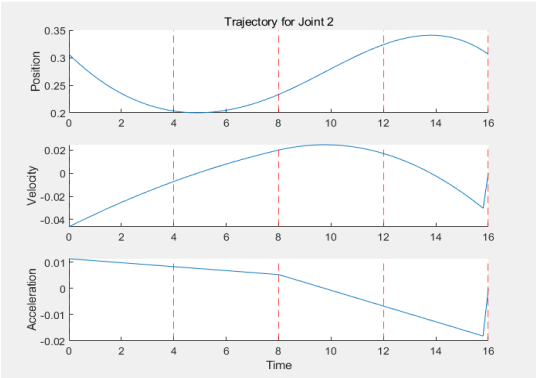
(a) – Маршрут планирования траектории; (b)(c)(d)(e) – Кривая положения, скорости и ускорения.



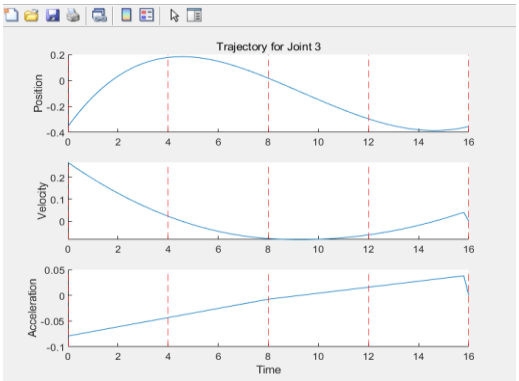
(a)



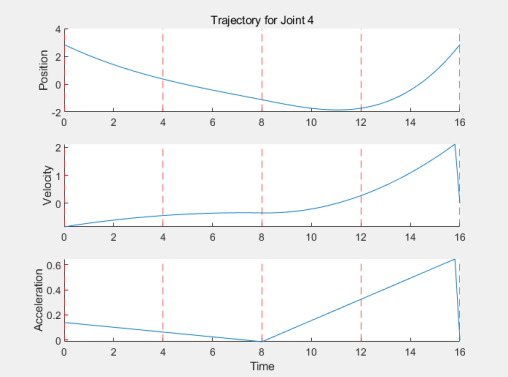
(b) Joint 1



(c) Joint 2



(d) Joint 3



(e) Joint 4

Рис. 8 B–сплайновая интерполяция

(a) - Маршрут планирования траектории; (b)(c)(d)(e) - Кривая положения, скорости и ускорения.

Выход: в случае планирования траектории с использованием алгоритма пятикратной полиномиальной интерполяции в пространстве суставов кривая траектории на конце манипулятора непрерывно изменяется на протяжении всего процесса движения, нет мутации и нет смещения каждого шатуна; кривая угла, угловой скорости и углового ускорения каждое соединение манипулятора соответствует траектории плавно и непрерывно, практически без ошибок, что может удовлетворить потребности практического применения.

4. Сравнение методов отбора проб

В этой части я буду исследовать задачу по взятию сыпучего грунта из навала по движущемуся конвейеру, в частности, это сравнение траектории и скорости

движения суставов при различных режимах движения. Как показано на рисунке 9, положение отбора проб манипулятора, стрелка указывает направление движения порошка в движущемся конвейере.

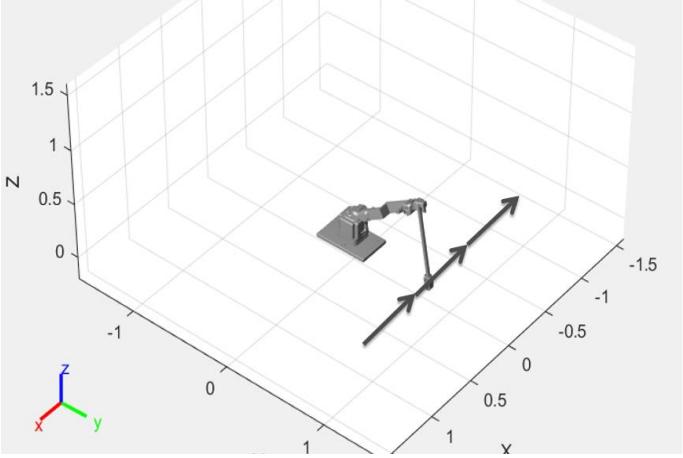
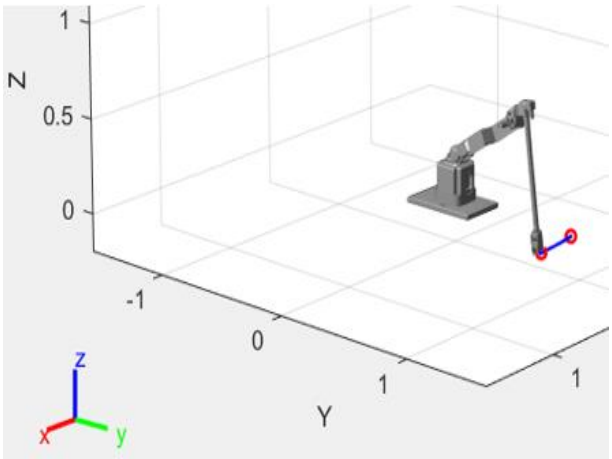


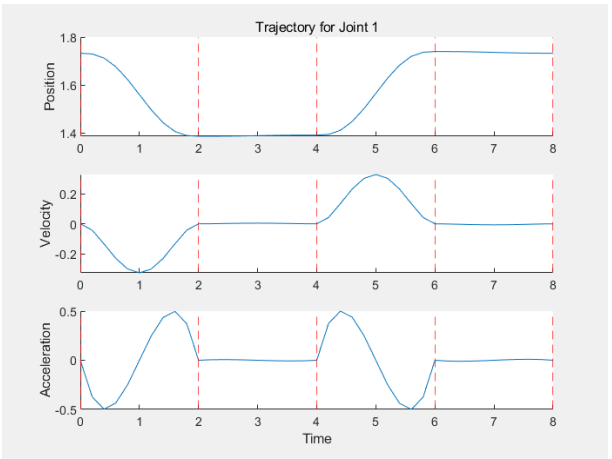
Рис. 9 Положение выборки манипулятора

Чтобы сравнить траектории и скорости соединений различных форм движения образца, я установил время выборки равным 2 секундам, все они используют пятикратную полиномиальную интерполяцию, и то же положение выборки.

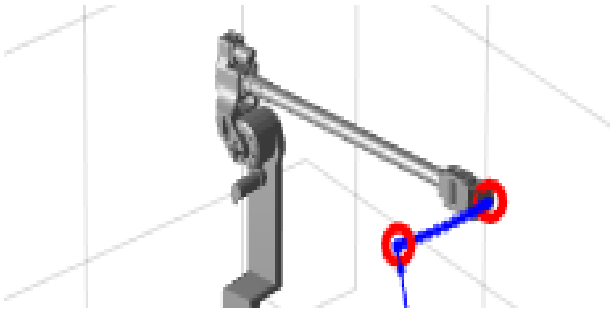
A. Когда манипулятор перемещается в положение отбора проб, шарнир 1 вращается, а другие шарниры не перемещаются для завершения процесса отбора проб, как показано на рисунке 10.



(a)



(b) Joint 1

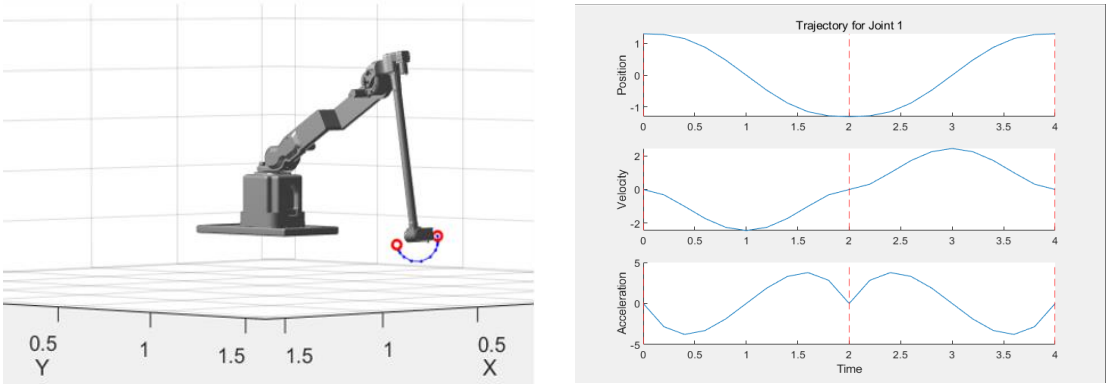


(c)

Рис. 10 Первый метод отбора проб

(a)– Конечная траектория(T= 0 – 2 c); (b) – Кривая положения, скорости и ускорения (Joint 1); (c) – Конечная траектория (T= 4 – 6 c).

B. Когда манипулятор перемещается в положение отбора проб, четвертый шарнир поворачивается на 180 градусов для завершения процесса отбора проб, как показано на рисунке 11.



(a) (b) Joint 4

Рис. 11 Второй метод отбора проб

(a) – Конечная траектория(T= 0 – 2 c ; 2 – 4 c); (b) – Кривая положения, скорости и ускорения (Joint 4).

В этом способе отбора проб траектория движения четвертого шарнира манипулятора составляет (T=0-2 c) при отборе проб, а траектория движения составляет (T=2-4 c) при сбросе пробы.

Выход: в двух методах выборки кривая траектории на конце манипулятора непрерывно изменяется на протяжении всего процесса движения без изменений; траектория подгонки кривых угла, угловой скорости и углового ускорения подвижных шарниров манипулятора является плавной и непрерывной, практически без ошибок. Однако, принимая во внимание практическое применение, соединения манипулятора в первом способе отбора проб сильно подвержены механическому воздействию порошка, поэтому выбран второй метод отбора проб.

5. Заключение

В данной статье исследуется управление движением процесса отбора проб манипулятора. В начале, после создания имитационной модели манипулятора, с использованием модуля Simscape и инструмента Robotics Toolbox для модификации и проверки, была получена надежная модель манипулятора. Затем используйте набор инструментов robot system toolbox для моделирования. После сравнения нескольких методов интерполяции сравните траекторию конца манипулятора, кривую подгонки угла, угловую скорость и угловое ускорение каждого шарнира и выберите использование алгоритма сплайн-кривой пятого порядка в пространственной системе координат шарнира для определения траектории планирование. Наконец, исследуется задачу по взятию сыпучего грунта из навала по движущемуся конвейеру, в частности, это сравнение траектории и скорости движения суставов при различных режимах движения, комбинируя сценарии практического применения, определено, что действие отбора проб заключается в следующем: после того, как первые три соединения перемещаются в заданное положение, четвертое соединение поворачивается на 180 градусов, чтобы завершить действие отбора проб.Результаты показывают, что траектория операции захвата манипулятора является плавной, а скорость, ускорение и ускорение каждой совместной траектории остаются непрерывными, что может удовлетворить потребности практического применения и обеспечить соответствующую поддержку для планирования движения манипулятора.

Литература

1. Бир Р , Олаби А. Диссоциированная траектория, ограниченная рывком, применяемая к изменяющемуся во времени снижению вибрации [J]. Роботизированныемикросхемы и компьютерно-интегрированное производство, 2013, 29. (2): 444-453.
2. Лю Цзыгуй.Исследование и моделирование планирования траектории промышленных роботов на основе совместного пространства [J].самолет Машиностроение и автоматизация, 2017, 3: 59-61.
3. Чжао Чжиюн и Ван Дунцин.Анализ и моделирование кинематики робота Dobot Моделирование [J] Журнал Университета Циндао (издание по инженерным технологиям)),2017,32(1):52-57.
4. Dell'Aquila A, Liserre M, Monopoli V G и др. Обзор решений на основе PI для управления шинами постоянного тока однофазного H-мостового многоуровневого активного выпрямителя [J].Транзакции IEEE по отраслевым приложениям,2008,44(3):857-866.
5. Ян Мин, Чжан Жуйхао, Чжан Цзюнь и др. Четырехосное управление роботом SCARA Систематический обзор [J]. Электропривод, 2020, 50 (1):14-23.
6. Сунь Лян, Ма Цзян, Жуань Сяоган. Исследование планирования траектории и моделирования роботизированной руки с шестью степенями свободы [J]. Инженерия управления, 2010, 17 (3): 388-392.
7. Пань Лэй, Цянь Вэй, Чжан Чжиянь и др. Кинематический анализ и моделирование в Matlab роботизированной руки с четырьмя степенями свободы [J]. Механическая наука и технология,2013,32(3):421-425.
8. Сунь Ин, Чэн Вэньтао, Ли Гунфа и др. Состояние исследования алгоритма планирования траектории и планирования траектории совместного робота [J]. Журнал Чанцзянского университета (издание Nature),2016,13(28):32-38.

References

1. Bearee R,Olabi A. Dissociated jerk-limited trajectory applied to time-varying vibration reduction [J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,2013,29.(2) :444-453.

2. Liu Tsygui.Research and modeling of trajectory planning of industrial robots based on shared space [J].plane Mechanical Engineering and Automation, 2017, 3:59-61.
3. Zhao Zhong and Wang Dongqing.Analysis and modeling of the kinematics of the robot Dobot Modeling [J] Journal of Qingdao University (Engineering Technology Publication), 2017, 32(1):52-57.
4. Dell'Aquila A, Liserre M, Monopoli V G,et al. Overview of PIBased Solutions for the Control of DC Buses of a Single-Phase H-Bridge Multilevel Active Rectifier [J].IEEE Transactions on Industry Applications,2008,44(3):857-866.
5. Yang Ming, Zhang Ruhao, Zhang Jun, etc. SCARA four-axis robot control Systematic review[J]. Electric drive,2020,50 (1):14-23.
6. Sun Liang, Ma Jiang, Ruan Xiaogang. A study of trajectory planning and simulation of a robotic arm with six degrees of freedom [J]. Management Engineering, 2010, 17(3):388-392.
7. Pan Lei, Qian Wei, Zhang Zhiyan, etc. Kinematics analysis and Matlab simulation of four-degree-of-freedom robotic arm [J]. Mechanical science and Technology,2013,32(3):421-425.
8. Sun Ying, Cheng Wentao, Li Gongfa, etc. Research status of trajectory planning algorithm and trajectory planning of joint robot [J]. Journal of Changjiang University (Nature Edition) ,2016,13(28):32-38.

© Ван Сун, Гао Хань, 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022.

Для цитирования: *Ван Сун, Гао Хань*, ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МАНИПУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ MATLAB// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022.