Закиров Р. И.
Zakirov R.I.

аспирант Института кон-
структорско-технологиче-
ской информатики РАН,
Федеральный научно-клини-
ческий центр реаниматоло-
гии и реабилитологии, г.
Москва,
Российская Федерация

Алиев М. И.
Aliev M.I.

младший научный сотрудник
Института конструктор-
ско-технологической
информатики
Российской академии наук,
г. Москва,
Российская Федерация

Морозов А. И.
Morozov A.I.

младший научный сотрудник
Института конструктор-
ско-технологической
информатики
Российской академии наук,
г. Москва,
Российская Федерация

УДК 62-11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕЛЬТА-РОБОТА ПО ЗАДАНЫМ ПАРАМЕТРАМ РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ

На сегодняшний день роботы с параллельной структурой достаточно широко применяются в промышленности. Обладающие высоким быстродействием, дельта-роботы уже зарекомендовали себя при обслуживании непрерывных технологических линий, например, при сортировке небольших изделий, переориентации изделий в потоке, сварке, размещении компонентов на печатных платах, а также в фармацевтической и пищевой промышленности. В связи с этим для параллельных роботов очень актуально расширение сфер применения, в частности, внедрение на вспомогательные операции. Главным преимуществом дельта-робота является скорость. Если типичный робот-манипулятор выполняет не только полезную нагрузку, но и перемещает двигатели, установленные в сочленениях, то движущейся частью дельта-робота является только его рама, как правило, сделанная из легких композитных материалов.

Несмотря на универсальность применения дельта-роботов, из технических соображений их проектируют под определенные задачи и функции, которые они будут выполнять. От объема и качества рабочего пространства манипулятора, жесткости его конструкции и других характеристик зависит кинематика и динамика манипулятора. Данные факторы делают актуальной цель работы – синтез параметров дельта-робота с учетом ограничений, накладываемых на рабочее пространство.

В данной статье рассматривается подход для определения кинематических характеристик дельта-робота по координатам требуемой рабочей зоны, основанный на уравнениях связи. Используются уравнения связи для трех координат выходного звена и трех углов поворота рычагов относительно неподвижного основания. Получены результаты построения рабочей области для двух конфигураций рассматриваемого робота. Решена обратная кинематическая задача с использованием численных методов и определена структура системы управления роботом, проведено моделирование рабочей области.

Ключевые слова: дельта-робот, параллельный робот, рабочая зона, уравнения связи, манипулятор, обратная задача кинематики.

DETERMINATION OF THE KINEMATIC CHARACTERISTICS OF A DELTA ROBOT BY THE SPECIFIED PARAMETERS OF THE WORK AREA

Today, robots with parallel steel are widely used in industry. Delta robots with high performance have already proven themselves in the maintenance of continuous production lines, for example, when sorting small products, reorienting products in the flow, welding, placing components on printed circuit boards, as well as in the pharmaceutical and food industries. In this regard, the expansion of applications, in particular, the introduction of auxiliary operations, is very important for parallel robots. The main advantage of the delta robot is its speed. If a typical robot manipulator performs not only the payload but also moves the engines installed in the joints, then the moving part of the delta robot is only its frame, usually made of lightweight composite materials.

Despite the versatility of delta robots, for technical reasons they are designed for specific tasks and functions that they will perform. Kinematics and dynamics of the manipulator depend on the volume and quality of the working space of the manipulator, the rigidity of its design and other characteristics. These factors make the actual purpose of the work-the synthesis of the parameters of the delta robot, considering the restrictions imposed on the workspace.

This article discusses an approach for determining the kinematic characteristics of a delta robot on the coordinates of the required working area, based on the equations of communication. The coupling equations for three coordinates of the output link and three angles of rotation of the levers relative to the fixed base are used. The results of construction of the working area for two configurations of the considered robot are obtained. The inverse kinematic problem is solved using numerical methods, and the structure of the robot control system is determined, and the working area is simulated.

Key words: delta robot, parallel robot, work zone, communication equations, manipulator, inverse kinematic.

В настоящее время манипуляторы являются устройствами, которые используются в самых различных областях промышленности вместе с другими системами автоматизации. Проектируют манипуляторы исходя из технических соображений для функций и задач, которые они будут выполнять. С ростом квалификации роботов они стали способны выполнять задачи, невыполнимые или опасные для человека, но несмотря на это возможности манипуляторов ограничены конкретным рабочим пространством, характеристиками используемых приводов. Поэтому, чтобы управлять манипуляторами, необходимо уметь решать следующие задачи:

- решение прямой и обратной задачи кинематики;
- анализ рабочего пространства;
- планирование движений робота;
- расчет сил и моментов;
- расчет динамической точности.

Рассмотрим основные типы роботов-манипуляторов:

1) Декартовы роботы имеют три оси управления, каждая из которых взаимно пер-

пендикулярна к двум остальным. Данные роботы способны совершать только линейные перемещения, поэтому для перемещения рабочего органа манипулятора в необходимую точку пространства достаточно написать простую программу. Преимущества: простота в управлении, высокая разрешающая способность. Недостатки: большие габариты, ограниченная рабочая область;

2) роботы SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm - «сборочная роботизированная рука с избирательной гибкостью») – это манипуляторы с селективной гибкостью. Данный вид роботов обладает высокой жесткостью по оси Z и гибкостью по осям X и Y. Главное преимущество данных манипуляторов в том, что «рука» может свободно двигаться в плоскости, сохраняя при этом неизменную высоту по оси Z;

3) роботы с параллельной структурой. Основой конструкции данных манипуляторов является использование параллелограммов, благодаря которым сохраняется пространственная ориентация рабочего органа. Треугольная платформа, которая формой

напоминает букву греческого алфавита дельту, перемещается в пространстве по трем осям – X, Y и Z – с помощью трех рычагов, которые закреплены на основании робота. Благодаря очень маленькой инерции такой робот способен совершать движения с огромной скоростью. Самые важные отличительные характеристики дельта-робота – это скорость, компактность и точность. Среди недостатков можно выделить использование большого количества приводов, высокая стоимость и сложность системы управления.

Одной из важных задач при проектировании робота является определение его кинематических характеристик (длин плеч, углов поворота приводов) в зависимости от требуемой рабочей области робота, поскольку на ее основе прокладываются траектории движения инструмента.

Постановка задачи. Рассмотрим устройство с параллельной кинематикой – дельта-механизм, включающий в себя треугольное неподвижное основание и треугольную платформу, на движение которой накладывают ограничения кинематические цепи.

Рисунок 1. Структурная схема дельта-робота

Допустимые значения координат центра подвижной платформы определяются следующими величинами:

- 1) длиной плеч рычагов R_f и R_e ;
- 2) минимальным и максимальным углами поворота простых шарниров θ_1 , θ_2 , θ_3 ;
- 3) минимальным и максимальным углами поворота шаровых шарниров.

При помощи моделирования была получена рабочая зона для дельта-механизма (рисунки 2 и 3). Таким образом, рабочая зона механизма – конус с круговым сечением. Сверху рабочая область ограничена углами поворота шарниров и длинами плеч рычагов.

Рисунок 2. Рабочая зона дельта-механизма

Рисунок 3. Рабочая зона дельта-механизма

Необходимо по заданным параметрам рабочей области определить длины плеч рычагов R_f и R_e .

Конструкция робота подразумевает, что рычаги, соединенные с основанием простым шарниром, могут вращаться лишь в плоскости, описывая при этом окружность радиусом R_f с центром в точке. Большее же плечо R_e соединено шаровыми шарнирами, что позволяет ему свободно вращаться вокруг точки крепления к подвижному основанию, описывая сферу радиусом R_e .

В статье по расчету обратной задачи кинематики были получены соотношения для вычисления углов поворота шарниров θ_1 , θ_2 , θ_3 по заданным координатам X_0 , Y_0 , Z_0 центра подвижной платформы. В нашем же случае значения координат центра платформы ограничены заданными параметрами рабочей зоны и предельными углами поворота шарниров. Тогда получаем систему уравнений и неравенств, из которой сможем получить численные значения длин плеч R_f и R_e .

$$\left\{ \begin{array}{l} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = R_e^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = R_e^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = R_e^2 \\ x^2 + y^2 + (z - z_w)^2 \geq R_w^2 \\ \theta_{1min} \leq \theta_1 \leq \theta_{1max} \\ \theta_{2min} \leq \theta_2 \leq \theta_{2max} \\ \theta_{3min} \leq \theta_3 \leq \theta_{3max} \end{array} \right.,$$

где R_w – радиус рабочей зоны дельта-робота; $(0, 0, z_w)$ – координаты центра этой зоны.

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 \\ y_1 &= -\frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} - R_f \cos \theta_1 \\ z_1 &= -R_f \sin \theta_1 \\ x_2 &= \left(\frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} + R_f \cos \theta_2 \right) \cos 30^\circ \\ y_2 &= \left(\frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} + R_f \cos \theta_2 \right) \sin 30^\circ \\ z_2 &= -R_f \sin \theta_2 \\ x_3 &= \left(\frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} + R_f \cos \theta_3 \right) \cos 30^\circ \\ y_3 &= \left(\frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} + R_f \cos \theta_3 \right) \sin 30^\circ \\ z_3 &= -R_f \sin \theta_3 \end{aligned}$$

На рисунке 4 представлен результат работы программы, где $R_w=200$, координаты центра - $(0, 0, -200)$, значения углов поворота шарниров от -450 до 600 , $L_e=300$ $L_f=140$.

Красным цветом выделена заданная рабочая область робота. Справа представлено сечение плоскость $z=-200$.

Рисунок 4. . Результат работы программы

Рассмотрим, как изменяется рабочая зона при изменении кинематических параметров системы. При увеличении плеча R_e , крепящегося к подвижному основанию, рабочая зона сужается по оси Z . На рисунке 5 представлены две рабочие области робота: в первом

случае $R_e = 420$ мм, $R_f = 210$ мм и сфера радиуса $R_w = 300$ мм с центром в точке $(0, 0, -250)$ полностью лежит внутри рабочей области данного робота. При изменении размера плеча R_e до 450 мм обрезается значительная часть требуемой зоны (справа на рисунке 5).

Рисунок 5. Результаты программы для вариантов плеч

1) $R_e = 420$, $R_f = 210$, 2) $R_e = 450$, $R_f = 210$, радиус сферы рабочей области $R_w = 300$

При увеличении же плеча R_f , которое крепится к неподвижному основанию, рабочая область изменяется по всем трем осям: уве-

личивается в плоскости XY и сужается по оси Z . На рисунке 6 представлены результаты программы для двух случаев.

Рисунок 6. Результаты программы для вариантов плеч

1) $R_e = 400$, $R_f = 130$, 2) $R_e = 400$, $R_f = 200$

Выводы

В данной статье приведен способ определения рабочей зоны дельта-робота, предложена система уравнений для определения координат. Полученные решения позволяют не только определять координаты выходного звена по конструктивным параметрам робота, но и решать обратную задачу, определять

конструктивные характеристики по заданным параметрам рабочей области дельта-робота. Для этих целей используются численные методы решения на ЭВМ. Полученный результат позволяет повысить точность, увеличить эффективность автоматизации процесса.

Список литературы

1. Жавнер В.Л., Никитина К.В. Исследование параметров обслуживаемой зоны робота параллельной структуры. – Международный научно-исследовательский журнал. – Вып. № 4(46).
2. Хейло С.В. Разработка научных основ создания манипуляционных механизмов параллельной структуры для робототехнических систем предприятий текстильной и легкой промышленности: дис. – М., 2014.
3. Сферы применения промышленных роботов-манипуляторов: статья в промышленном каталоге статей. Режим доступа: <https://www.12821-80.ru/articles/a5106>
4. Белянин П.Н. Кинематические схемы, системы и элементы промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1992.
5. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.Л., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. – М.: Высш. шк., 1986.

References

1. Zhavner V.L., Nikitina K.V. Issledovanie parametrov obsluzhivaemoj zony robota parallel'noj struktury. – Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – vyp. № 4(46).
2. Hejlo S.V. Razrabotka nauchnyh osnov sozdaniya manipuljacionnyh mehanizmov parallel'noj struktury dlja robototekhnicheskikh sistem predpriyatij tekstil'noj i legkoj promyshlennosti: dissertacija. – M., 2014.
3. Sfery primenenija promyshlennyh robotov-manipuljatorov: stat'ja v promyshlennom kataloge statej. URL: <https://www.12821-80.ru/articles/a5106>
4. Beljanin P.N. Kinematicheskie shemy, sistemy i jelementy promyshlennyh robotov. – M.: Mashinostroenie, 1992.
5. Burdakov S.F., D'jachenko V.L., Timofeev A.N. Proektirovanie manipuljatorov promyshlennyh robotov i robotizirovannyh kompleksov. – M.: Vyssh. shk., 1986.