2. Испытаниями экспериментального образца фрезерного культиватора для реверсивной обработки почвы в парниках установлено следующее:
 - конструкция фрезерного культиватора позволяет регулировать глубину обработки почвы от 0 до 15 см;
 - экспериментальный образец фрезерного культиватора удовлетворительно выполняет технологические процессы рыхления почвы и уничтожении сорняков как при прямом, так и в реверсивном движении;
 - установлено, что энергетические затраты на механическую обработку почвы как при прямом, так и при в реверсивном движении не отличаются между собой.

1. Винецкий, Е.И. Средства механизации выращивания рассады табака / Е.И. Винецкий, И.И. Дьячкин, Т.В. Грушевская, А.Д. Пестов, Т.И. Богомолова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2002. - №7. - С. 7-10.
2. Винецкий, Е.И. Машинные технологии и комплексы технических средств для производства табака (Механико – технологическое обоснование)/ Монография. – Краснодар: Просвещение – Юг, 2017. – 173 с., с ил.
3. Патент РФ на полезную модель № 190903. Энергетическое мостовое шасси./ Опубликовано: 16.07.2019. Бюл. № 20. Заявка: 2019107453 от 15.03.2019.
4. Винецкий, Е.И. Теоретико – экспериментальное обоснование параметров энергетического средства для механизации выращивания рассады в парниках/ Е.И. Винецкий, Винецкая Н.Н., Ульяновченко Е.Е./ Наука России: Цели и задачи. Сборник научных трудов по материалам XVI международной научно-практической конференции 10 август 2019 г. Часть 1 Изд. НИЦ «Л-Журнал», 2019.

Валюкевич Ю.А., Егорышев Н.Е., Дерезюк Д.А. Моторин Д.Е.

Разработка кинематической модели манипулятора параллельной структуры с гибкими звеньями

*Институт Сферы Обслуживания и Предпринимательства (филиал) Донской государственной технической университет в г. Шахты
(Россия, Шахты)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2020-36

idsp: sciencerussia-10-12-2020-36

Аннотация

В настоящее время получили весьма широкое развитие параллельные мехатронные структуры с гибкими звеньями. Манипуляторы на их основе нашли весьма широкое применение в промышленности, медицине, строительстве. В настоящей работе рассмотрены решения прямой и обратной задач кинематики восьмизвенного манипулятора с гибкими звеньями для трёх и пяти абсолютных координат. Показаны возможные области применения манипуляторов подобной конструкции.

Ключевые слова: Кинематика, кинематика манипулятора, восьмизвенный параллельный манипулятор, манипулятор с гибкими звеньями

По сравнению с жесткими параллельными манипуляторами (платформа Стюарта), кабельные, или как их ещё называют – тросовые, параллельные манипуляторы вместо жестких звеньев используют тросы в качестве исполнительных элементов для управления движением исполнительного устройства (схвата). Согласно анализу литературных источников, кабельные роботы сохраняют основные характеристики традиционных манипуляторов, включая потенциально большое рабочее пространство, простоту перенастройки и реализации, высокую скорость

перемещения и высокое соотношение полезной нагрузки к весу. Благодаря этим особенностям, некоторые приложения доступны в различных областях человеческой деятельности, например, в строительстве зданий и сооружений [1], астрономических наблюдениях [2], службе спасения [3], обслуживании или реабилитации инвалидов, а также в многофункциональных воздушных роботах [3].

Однако тросовый манипулятор также имеет ряд специфических недостатков. Наиболее распространенным является то, что кабель может находиться только в напряжённом состоянии, т.е. кабель должен быть натянут, чтобы получить фиксированное состояние схвата. Кроме того, провисание кабеля должно учитываться в подвесных кабельных параллельных роботах [5]. Применение рассматриваемой в настоящей работе кинематической схемы позволяет убрать большинство недостатков присущих тросовым манипуляторам.

Базовая кинематическая схема манипулятора.

Базовая кинематика манипулятора параллельной структуры с гибкими звеньями представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 - Кинематическая схема трёхзвенного манипулятора.

На рисунке 1. приняты следующие обозначения:

Ch1, Ch2, Ch3 - опорные шкивы звеньев манипулятора;

L1, L2, L3 – текущие длины (обобщённые координаты) звеньев 1-3 манипулятора соответственно;

r1, r2, r3 – радиусы приведения барабанов связанных с валами электроприводов звеньев манипулятора;

V1, V2, V4 - линейные скорости обобщенных координат звеньев

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – угловые скорости обобщенных координат звеньев;

M (x, y, z) - абсолютные координаты схвата манипулятора

Кинематическая структура, представленная на рисунке 1, может быть описана следующим образом:

- зона обслуживания манипулятора представлена треугольной призмой ABCA1B1C1;
- нерастяжимые нити, представляющие собой звенья манипулятора одни концы связаны с барабаном мотор-редуктора электропривода вторые концы нити, проходящие через шкив ch1 ch3 связаны между собой и с столом манипулятора

- обобщенная координата звена равна расстоянию между точками соединения нитей (точка М (x, y, z)) и точкой схода нити с шкива sh-1 ch3 соответствующего звена;
 - в абсолютной системе координат, начало которой совпадает с точкой А, координаты точек А (x_1, y_1, z_1), В (x_2, y_2, z_2), С (x_3, y_3, z_3) известны
 - для кинематической схемы, приведенной на рисунке 1 координаты шкивов звеньев, соответствуют выражениям 1.
- $$x_1 = x_2 = 0, y_1 = 0, y_1 = y_2, z_1 = z_2 = z_3 = 0; \quad (1)$$
- абсолютные координаты положения в зоне обслуживания точки М однозначно определяются величинами обобщенных координат $L_1 \div L_3$ соответственно.

Уравнения для прямой и обратной задач кинематики подробно рассмотрены в работе [4], там же предложены методы планирования перемещения схвата по заданной траектории.

Основным недостатком базовой модели является эффект колебания перемещаемого груза, особенно сильно проявляющийся при больших значениях абсолютной координаты z .

Кинематика восьмизвездного манипулятора.

На рисунке 2 приведена более сложная кинематическая схема манипулятора с гибкими звеньями. Зона обслуживания манипулятора представляет собой параллелепипед с длинами рёбер X_1, Y_1, Z_1 , в вершинах которого закреплены мотор-редукторы с барабанами М1 – М8. Звенья манипулятора представлены нерастяжимыми нитями $L_1 – L_8$. Один конец каждого звена связан с барабаном мотор-редуктора второй конец $L_1 – L_8$ связан с углом платформы ABCD, причём звенья, связанные с барабанами мотор-редукторов каждого ребра параллелепипеда, попарно крепятся к одному и тому же углу платформы ABCD. Размеры платформы определены величинами $AB = CD = a$ и $AD = BC = b$. Перемещение платформы в пределах зоны обслуживания достигается за счёт согласованного изменения длины звеньев $L_1 – L_8$.

Рисунок 2 - Кинематическая схема восьмизвездного манипулятора.

В качестве абсолютных координат принято положение геометрического центра платформы – точка М (x, y, z).

Обратная задача кинематики по положению при плоскопараллельном относительно основания или вертикальном перемещении платформы может быть представлена виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} L1 = \sqrt{(x - a/2)^2 + (y - b/2)^2 + (Z1 - z)^2}; \\ L2 = \sqrt{(x - a/2)^2 + (Y1 + b/2 - y)^2 + (Z1 - z)^2}; \\ L3 = \sqrt{(X1 + a/2 - x)^2 + (Y1 + b/2 - y)^2 + (Z1 - z)^2}; \\ L4 = \sqrt{(X1 + a/2 - x)^2 + (y - b/2)^2 + (Z1 - z)^2} \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L5 = \sqrt{(x - a/2)^2 + (y - b/2)^2 + z^2}; \\ L6 = \sqrt{(x - a/2)^2 + (Y1 + b/2 - y)^2 + z^2}; \\ L7 = \sqrt{(X1 + a/2 - x)^2 + (Y1 + b/2 - y)^2 + z^2}; \\ L8 = \sqrt{(X1 + a/2 - x)^2 + (y - b/2)^2 + z^2} \end{array} \right.$$

В соответствии с системой уравнений 2 прямая задачи о положении может быть представлена как:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{X1^2 + L2^2 + X1 \cdot a - L3^2}{2 \cdot X1}; \\ y = \frac{Y1^2 + L1^2 + Y1 \cdot b - L2^2}{2Y1}; \\ z = \frac{Z1^2 + L5^2 - L1^2}{2 \cdot Z1} \end{array} \right. \quad (3)$$

Для некоторых приложений могут быть использованы дополнительные степени свободы платформы, а именно на поворот платформы относительно осей X, Y. Фронтальная проекция манипулятора при вращении платформы вокруг оси Y представлена на рисунке 3.

Рисунок 3 - Фронтальная проекция кинематической схемы восьмизвенного манипулятора.

При этом обратная и прямая задача кинематики для данного манипулятора несколько видоизменяется. На рисунке 3 из всего множества показаны три возможных положения платформы манипулятора обозначенных цифрами 0, 1 и 2. Рабочим в рассматриваемом случае положением платформы является положение 0. При этом появляется дополнительная абсолютная координата φ – угол поворота платформы относительно оси проходящей через центр платформы параллельно оси Y . Уравнения для прямой задачи кинематики манипулятора для случая, представленного на рисунке 3 принимают вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{X1^2 + L2^2 + X1 \cdot a \cdot \cos\varphi - L3^2}{2 \cdot X1}; \\ y = \frac{Y1^2 + L1^2 + Y1 \cdot b - L2^2}{2Y1}; \\ z_1 = \frac{Z1^2 + L5^2 - L1^2}{2 \cdot Z1} \\ z_2 = \frac{Z1^2 + L8^2 - L4^2}{2 \cdot Z1} \\ \cos\varphi = \pi/2 - \frac{z_2 - z_1}{a} \end{array} \right. \quad (4)$$

При вращении платформы относительно оси X используется абсолютная угловая координата α и система уравнений для прямой задачи кинематики принимает вид

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{X1^2 + L2^2 + X1 \cdot a - L3^2}{2 \cdot X1}; \\ y = \frac{Y1^2 + L1^2 + Y1 \cdot b \cdot \cos\alpha - L2^2}{2Y1}; \\ z_1 = \frac{Z1^2 + L5^2 - L1^2}{2 \cdot Z1} \\ z_2 = \frac{Z1^2 + L6^2 - L2^2}{2 \cdot Z1} \\ \cos\alpha = \pi/2 - \frac{z_2 - z_1}{a} \end{array} \right. \quad (5)$$

Перемещения платформы с одновременным использованием обеих угловых координат обычно на практике не находят применения.

Система уравнений для обратной задачи кинематики для случая, приведенного на рисунке 3 (поворот платформы против часовой стрелки) принимает вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} L1 = \sqrt{(x - a \cdot \cos\varphi/2)^2 + (y - b/2)^2 + (Z1 - \frac{z_2 - z_1}{2} - z)^2}; \\ L2 = \sqrt{(x - a \cdot \cos\varphi/2)^2 + (Y1 + b/2 - y)^2 + (Z1 - \frac{z_2 - z_1}{2} - z)^2}; \\ L3 = \sqrt{(X1 + a \cdot \cos\varphi/2 - x)^2 + (Y1 + b/2 - y)^2 + (Z1 + \frac{z_2 - z_1}{2} - z)^2}; \\ L4 = \sqrt{(X1 + a \cdot \cos\varphi/2 - x)^2 + (y - b/2)^2 + (Z1 + \frac{z_2 - z_1}{2} - z)^2} \\ L5 = \sqrt{(x - a \cdot \cos\varphi/2)^2 + (y - b/2)^2 + (z - \frac{z_2 - z_1}{2})^2}; \\ L6 = \sqrt{(x - a \cdot \cos\varphi/2)^2 + (Y1 + b/2 - y)^2 + (z - \frac{z_2 - z_1}{2})^2}; \\ L7 = \sqrt{(X1 + a \cdot \cos\varphi/2 - x)^2 + (Y1 + b/2 - y)^2 + (z + \frac{z_2 - z_1}{2})^2}; \\ L8 = \sqrt{(X1 + a \cdot \cos\varphi/2 - x)^2 + (y - b/2)^2 + (z + \frac{z_2 - z_1}{2})^2} \end{array} \right. \quad (6)$$

При повороте платформы относительно оси Y в сторону противоположную показанной на рисунке 3 знак при переменной $\frac{z_2 - z_1}{2}$ в уравнении 6 меняется на

противоположный. При повороте платформы относительно оси X система уравнений для обратной задачи кинематики может быть представлена как:

$$\left\{ \begin{array}{l} L1 = \sqrt{(x - a/2)^2 + (y - b \cdot \cos\alpha/2)^2 + (Z1 - \frac{z_2 - z_1}{2} - z)^2}; \\ L2 = \sqrt{(x - a/2)^2 + (Y1 + b \cdot \cos\alpha/2 - y)^2 + (Z1 + \frac{z_2 - z_1}{2} - z)^2}; \\ L3 = \sqrt{(X1 + a/2 - x)^2 + (Y1 + b \cdot \cos\alpha/2 - y)^2 + (Z1 + \frac{z_2 - z_1}{2} - z)^2}; \\ L4 = \sqrt{(X1 + a/2 - x)^2 + (y - b \cdot \cos\alpha/2)^2 + (Z1 - \frac{z_2 - z_1}{2} - z)^2} \\ \left\{ \begin{array}{l} L5 = \sqrt{(x - a/2)^2 + (y - b \cdot \cos\alpha/2)^2 + (z - \frac{z_2 - z_1}{2})^2}; \\ L6 = \sqrt{(x - a/2)^2 + (Y1 + b \cdot \cos\alpha/2 - y)^2 + (z + \frac{z_2 - z_1}{2})^2}; \\ L7 = \sqrt{(X1 + a/2 - x)^2 + (Y1 + b \cdot \cos\alpha/2 - y)^2 + (z + \frac{z_2 - z_1}{2})^2}; \\ L8 = \sqrt{(X1 + a/2 - x)^2 + (y - b \cdot \cos\alpha/2)^2 + (z - \frac{z_2 - z_1}{2})^2} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Необходимо отметить что виду односторонний жесткости звена манипулятора на дополнительные обобщенные координаты (углы поворота вокруг оси X и Y) накладываются определенные ограничения, а именно на угол между платформой и векторами обобщённых координат не может превышать значения равного π . На рисунке 3 это ограничение представлено положениями платформы 2 и 3.

Заключение

Рассмотренный в настоящей работе манипулятор обладает весьма высокой жёсткостью конструкции и точностью позиционирования при достаточно большой зоне обслуживания (десятки метров) и может быть использован в качестве платформы 3d-принтера.

1. Albus, J. S., Bostelman, R. V., Dagalak, N. G 1992 The NIST ROBOCRANE, A Robot Crane, Journal of Robotic Systems
2. Du, J., Ding, W., Bao, H 2013 Cable vibration analysis for large workspace cable-driven parallel manipulators. In: Cable-Driven Parallel Robots, Springer, Berlin
3. Bai, G., Y. Ge, D. Scoby, B. Leavitt, V. Stoerger, N. Kirchgessner, S. Irmak, G. Graef, J. Schnable, and T. Awada 2019 NU-Spidercam: A large-scale, cable-driven, integrated sensing and robotic system for advanced phenotyping, remote sensing, and agronomic research. Comput. Electron. Agric.
4. Валюкевич Ю.А., Алепо А. В. Планирование траектории перемещения манипулятора с подвесом схвата на гибких звеньях (часть 1) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. - 2011. - №6 (159). - С. 168-175.
5. Валюкевич Ю.А., Алепо А. В. Планирование траектории перемещения манипулятора с подвесом схвата на гибких звеньях (часть 2) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. - 2012. - №1 (165). - С. 28-31.