

УДК 621.865.8

Д. А. КЛИМОВСКИЙ, Н. А. СМИРНОВ, Е. В. ФАЛЬКОВ

Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, Красноярск

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ МЕХАНИЗМА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ С ГИБКИМИ РАСТЯЖИМЫМИ ЗВЕНЬЯМИ

В настоящее время параллельные механизмы используются в различных областях: от обрабатывающих станков до пространственных манипуляторов. С точки зрения управления такими механизмами решение обратной задачи кинематики имеет наибольший практический интерес. В работе на примере механизма параллельной структуры с шестью гибкими звеньями приводится алгоритм решения обратной задачи кинематики с учетом растяжения этих звеньев.

Ключевые слова: механизм параллельной структуры, обратная задача кинематики, гибкое звено

Правильный выбор грузоподъемного оборудования является основным фактором нормальной работы и высокой эффективности производства. Нельзя обеспечить устойчивый ритм производства на современной ступени его развития без согласованной и безотказной работы современных средств механизации внутрицехового и межцехового транспортирования сырья, полуфабрикатов и готовой продукции на всех стадиях производства [1].

В производстве начинают находить применение механизмы параллельной структуры с гибкими звеньями [2], которые имеют большое рабочее пространство, большой диапазон перемещаемых масс, быстрое разворачивание, низкую металлоемкость конструкции. Рабочая площадка приводится в действие набором гибких звеньев, роль которых выполняют тросы. Это оборудование иногда называют тросоуправляемыми механизмами параллельной структуры [2–6].

Поскольку крупногабаритные изделия обладают значительной массой, а их перемещение и установку в высокотехнологичных и ответственных производствах, например, таких как самолетостроение или ракетостроение, следует производить с высокой точностью, возникает необходимость учета различных погрешностей. Одним из основных факторов, влияющих на точность такого механизма, является растяжение гибких звеньев.

Рассмотрим решение обратной задачи кинематики на примере механизма параллельной структуры с шестью гибкими звеньями, изображенного на рисунке 1. Механизм состоит из подвижной платформы и шести тросов. Изменяя длины тросов, можно передвигать платформу вдоль осей X , Y , Z , а также поворачивать на ограниченные углы вокруг осей W , Y , X .

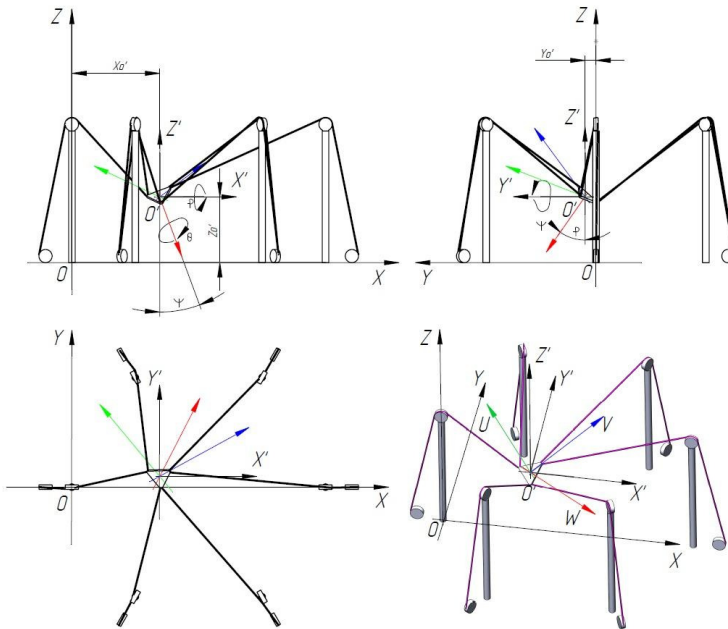


Рисунок 1 – Механизм параллельной структуры с шестью гибкими звеньями

Задача. Определить зависимость длин размотки гибких звеньев $L = [l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6]$ от положения платформы $S = [X_{O'}, Y_{O'}, Z_{O'}, \varphi, \psi, \theta]$. Гибкое звено считаем невесомым.

Одной из основных задач анализа кинематики механизма является определение матрицы преобразования R , переводящей координаты из связанной (повернутой) системы $O'UVW$ в абсолютную систему координат $OXYZ$. Для механизма на рисунке 1 наибольший практический интерес имеет перемещение вдоль осей $X-X_{O'}$, $Y-Y_{O'}$, $Z-Z_{O'}$, а также поворот на углы φ вокруг оси X , ψ – вокруг оси Y и θ – вокруг оси W . Матрица преобразования R определяется путем перемножения однородных матриц элементарных поворотов и смещений. Поскольку операция умножения матриц некоммукативна, то особое внимание следует обратить на порядок перемножения этих матриц. Эти правила подробно описаны в работе [7]. Для механизма на рисунке 1 матрица преобразования имеет вид:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \theta & -\cos \psi \sin \theta & \sin \psi & X_{O'} \\ \sin \varphi \sin \psi \cos \theta + \cos \varphi \sin \theta & -\sin \varphi \sin \psi \sin \theta + \cos \varphi \cos \theta & -\sin \varphi \cos \psi & Y_{O'} \\ -\cos \varphi \sin \psi \cos \theta + \sin \varphi \sin \theta & \cos \varphi \sin \psi \sin \theta + \sin \varphi \cos \theta & \cos \varphi \cos \psi & Z_{O'} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

На следующем этапе определяем силы натяжения звеньев согласно схеме на рисунке 2.

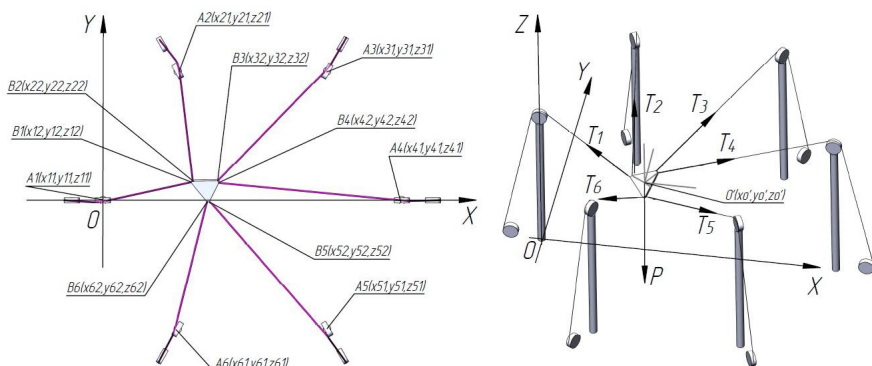


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения сил натяжения

Во-первых, необходимо найти координаты точек крепления звеньев к подвижной платформе $B_i(X_{i2}, Y_{i2}, Z_{i2})$ и к неподвижным основаниям $A_i(X_{i1}, Y_{i1}, Z_{i1})$ для исследуемого положения механизма. Координаты B_i в абсолютной системе координат определяются путем умножения координат точки B в связанной системе координат на матрицу преобразования R :

$$B_i = \begin{bmatrix} B_{xi} \\ B_{yi} \\ B_{zi} \\ 1 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} B_{ui} \\ B_{vi} \\ B_{wi} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Зная эти координаты, можно рассчитать силы натяжения. На платформу действуют 6 сил натяжения (T_1-T_6) и силы тяжести платформы с грузом (P), которая приложена к точке O' и всегда направлена противоположно оси Z . Система является статически определимой, поэтому силы натяжения легко вычисляются после составления уравнений равновесия системы [8].

Все звенья должны работать на растяжение, т. е. силы натяжения должны быть положительными. Это означает, что если хотя бы одна сила натяжения отрицательна, то данное положение механизма невозможно.

В реальных конструкциях, как было отмечено выше, звенья растяжимы. После удлинения звеньев система должна прийти в равновесие. Тогда выражение длины звена примет вид:

$$L'_i = l_i + \Delta l_i = \sqrt{(A_{xi} - B_{xi})^2 + (A_{yi} - B_{yi})^2 + (A_{zi} - B_{zi})^2},$$

где L'_i – требуемая длина троса; l_i , Δl_i – соответственно, длина его размотки и удлинение.

Удлинения троса определятся из соотношения [9]:

$$\Delta l_i = \frac{T_i l_i}{EF_i},$$

где E – модуль упругости материала тросов, F_i – площади их сечения.

Таким образом, получаем требуемую длину размотки тросов:

$$l_i + \frac{T_i l_i}{EF_i} = \sqrt{(A_{xi} - B_{xi})^2 + (A_{yi} - B_{yi})^2 + (A_{zi} - B_{zi})^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow l_i = \frac{\sqrt{(A_{xi} - B_{xi})^2 + (A_{yi} - B_{yi})^2 + (A_{zi} - B_{zi})^2}}{\left(1 + \frac{T_i}{EF_i}\right)}.$$

Общий вид рассмотренного алгоритма представлен на рисунке 3.

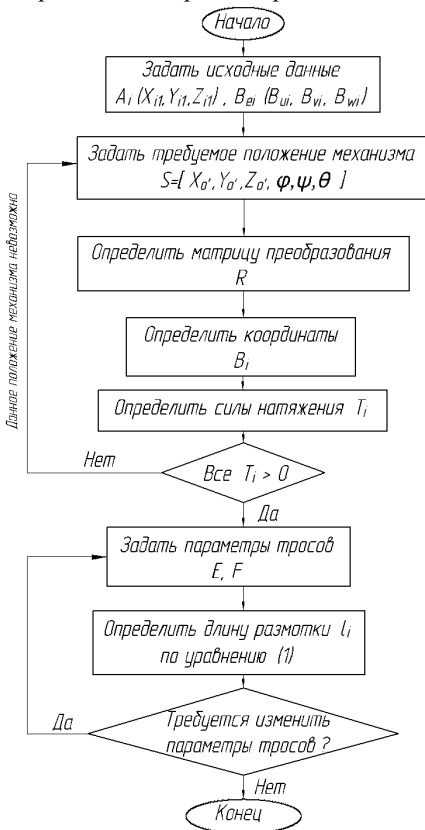


Рисунок 3 – Общий вид алгоритма

Изложенная последовательность решения обратной задачи хорошо поддается компьютеризации, что делает его привлекательным для автоматизации расчетов. Полученный алгоритм может быть использован при проектировании системы управления высокоточного манипулятора крупногабаритных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Грузоподъемные машины: учебник для вузов по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование» / М. П. Александров [и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 400 с.

2 **Климовский, Д. А.** Применение тросо-управляемых механизмов параллельной структуры в производстве ракетной техники // Д. А. Климовский, Н. А. Смирнов // Решетневские чтения : материалы XX Междунар. науч. конф. (9–12 ноября 2016, г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2016. – С. 35–36.

3 **Gosselin, C.** Cable-driven parallel mechanisms: state of the art and perspectives / C. Gosselin // Mechanical Engineering Reviews. – 2014. – Vol. 1, No. 1. – 17 p.

4 **Albus, J.** The NIST Robocrane / J. Albus, R. Bostelman, N. Dagalakis // Journal of Robotic Systems. – 1993. – Vol. 10, No. 5. – P. 709–724.

5 **Tang, X.** An Overview of the Development for Cable-Driven Parallel Manipulator / X. Tang // Advances in Mechanical Engineering. – 2014. – Vol. 6. – 9 p.

6 **Wavering, A. J.** Parallel Kinematic Machine Research at NIST: Past, Present, and Future / A. J. Wavering // Parallel kinematic machines : Theoretical aspects and industrial requirements. – London : Springer-Verlag, 1999. – P. 17–31.

7 **Фу, К.** Робототехника / К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли – М. : Мир, 1989. – 624 с.

8 **Тарг, С. М.** Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. – М. : Высш. шк., 1986. – 416 с.

9 **Писаренко, Г. С.** Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – Киев : Наукова думка, 1975. – 705 с.

KLIMOVSKIY D. A., SMIRNOV N. A., FALKOVA E. V.

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

ALGORITHM OF THE INVERSE KINEMATIC PROBLEM SOLUTION FOR PARALLEL KINEMATIC MECHANISM WITH FLEXIBLE EXTENSIBLE ELEMENTS

Nowadays, parallel mechanisms are used in various areas: from processing machines to spatial manipulators. From the point of view of such mechanisms controlling, the solution of the inverse kinematics problem has the greatest practical interest. In the work there is presented the algorithm of inverse kinematics problem solving with allowance extension of the ropes applied for the parallel kinematic mechanism with six flexible links.

Получено 13.04.2018