

Многочисленные структуры управления для сокращения ошибок вычисления траектории и проблем жесткости станка, такие как ограничение темпа ускорения, предварительная установка частоты вращения и момента, повышают производительность обработки и точность деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высокоскоростное фрезерование (HSC). По материалам проработок фирмы Hermle // Galika AG [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.galika.ru/article_8.htm. 2. Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Теория резания. – Мн.: Новое знание, 2005. – 512 с. 3. Высокоскоростное фрезерование. Информационные материалы департамента "Автоматизация и приводы" фирмы Siemens. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.automation-drives.ru/mc/archive/press/hsc_ito.pdf. 4. Аркадов А.Ю., Николаев П.М. Программирование обработки сложных поверхностей с повышенными точностью и производительностью // Информационные технологии в проектировании и производстве (ИТПП). – М.: 2000, №1. – С.54-57. 5. В.И.Шпорт, В.Ф.Кузьмин, С.Б.Марьин. Высокоскоростное фрезерование криволинейных поверхностей // Теория и практика машиностроения. – Мн.: 2003, №1. – С.53-56.

УДК 621.313.84

Литвинов Е.А., Карпович С.Е., Агранович А.А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПЛАТФОРМЫ МАНИПУЛЯЦИОННОГО МЕХАНИЗМА С ШЕСТЬЮ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ СРЕДСТВАМИ MATLAB/SIMULINK

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Механизм, представленный на рис. 1, относится к классу параллельных манипуляционных механизмов с шестью степенями свободы. Данный класс исполнительных робототехнических устройств нашёл широкое применение в промышленных роботах, станках с ЧПУ, системах тестирования и контроля параметров объекта [1]. Манипуляционные механизмы с шестью степенями свободы позволяют создавать управляемые электромеханические системы, реализующие любые перемещения исполнительного элемента в пространстве, задаваемые шестью независимыми законами движения, например, тремя линейными координатами и тремя угловыми координатами, характеризующими пространственное, плоскопараллельное и угловое перемещение при переходе исполнительного элемента из одного положения в другое [2].

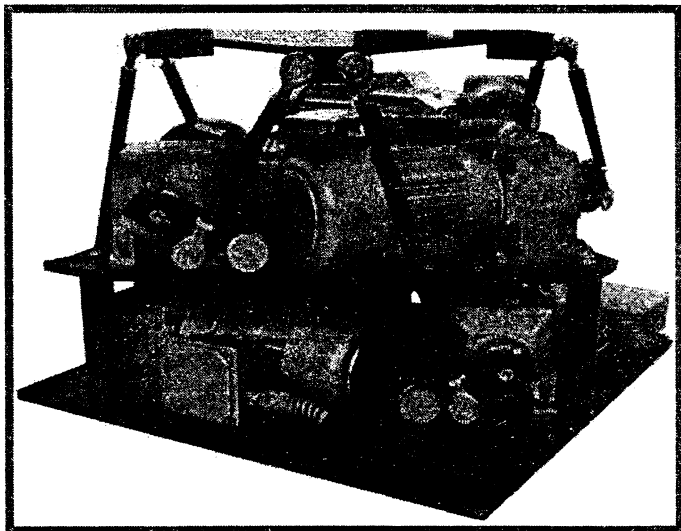


Рисунок 1 - Манипуляционный механизм с шестью степенями свободы

АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЙ ПЛАТФОРМЫ МАНИПУЛЯЦИОННОГО МЕХАНИЗМА

Рассматриваемый механизм, в соответствии с его схемой (рис. 2), состоит из подвижной площадки P , звеньев 1, 2, ..., 6, жёстко связанных с вращающимися элементами

двигателей $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ которые, в свою очередь, посредством сферических шарниров и промежуточных шатунов 7, 8, ..., 12 связаны с площадкой P [3].

В соответствии со структурной схемой (рис. 2) механизма звенья 1, 2, ..., 6 являются входными, законы перемещения которых, задаются непосредственно управляемыми двигателями. Выходное звено механизма – это подвижная площадка P , связанная с подвижными входными звеньями посредством шести подвижных шатунов 7, 8, 9, 10, 11, 12, образующих, как с подвижной площадкой, так и с входными звеньями сферические кинематические пары $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ и $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$.

Моделирование перемещений платформы манипуляционного механизма с шестью степенями свободы сводится к определению положения и ориентации подвижной площадки P относительно абсолютной (неподвижной) системы координат $OXYZ$ по заданным геометро-конструктивным параметрам механизма, входным переменным параметрам, задаваемым обобщёнными угловыми координатами поворота подвижных элементов шести приводов.

Для механизма, изображённого на рис. 2, входными задаваемыми переменными будут углы поворота валов двигателей ($\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_6$), выраженные как углы поворота соответствующих кривошипов $O_1N_1, O_2N_2, \dots, O_6N_6$. Таким образом, по известным углам σ_i ($i = 1, 2, \dots, 6$) ставится задача в определении соответствующего положения и ориентации платформы в пространстве. Под положением платформы понимают x, y, z смещения, а под ориентацией – углы поворота вокруг оси z (угол φ), поворота вокруг оси y (угол θ), поворота вокруг оси x (угол ψ).

Сферические шарниры, характеризующиеся на схеме (рис.2) точками N_i ($i=1, 2, \dots, 6$), связаны с рабочей площадкой P шестью шатунами, представленными длинами N_iA_i ($i=1, 2, \dots, 6$), которые в точке A_i сопрягаются с площадкой тоже сферическими шарнирами. Это конструктивное исполнение механизма может быть аналитически описано векторным условием неизменности в процессе движения длин самих шатунов:

$$|\vec{R}^{(N_i)} - \vec{R}^{(A_i)}| = l, \quad (1)$$

где $\vec{R}^{(N_i)}, \vec{R}^{(A_i)}$ – радиус-векторы соответственно точек N_i и A_i в декартовой системе координат $OXYZ$.

Радиус-вектор $\vec{R}^{(A_i)} = (x^{A_i}, y^{A_i}, z^{A_i})$ определяет положение каждой точки A_i принадлежащей площадке P в системе координат $OXYZ$. Для пересчёта координат точек A_i из системы координат площадки P неподвижную систему координат $OXYZ$ необходимо воспользоваться матричным равенством:

$$\vec{R}^{(A_i)} = M \cdot \vec{R}_i, \quad (2)$$

где

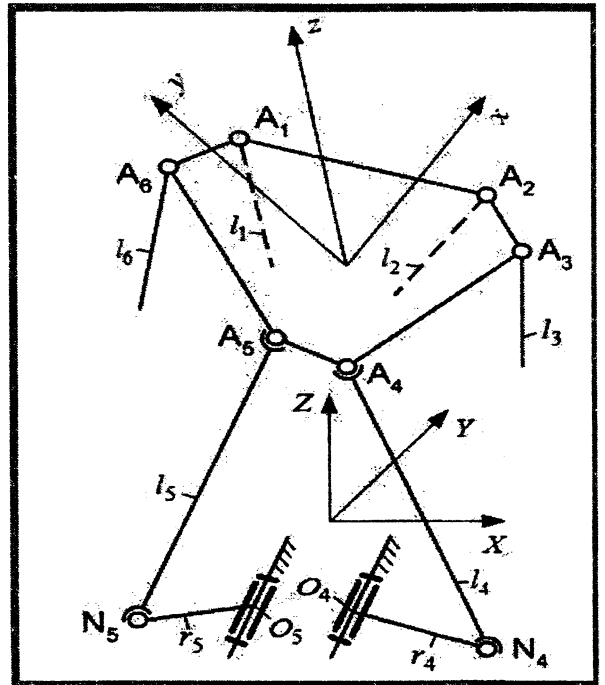


Рисунок 2 - Структурная схема механизма

$$M = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \theta - \sin \varphi \cos \psi + \cos \varphi \sin \theta \sin \psi & \sin \varphi \sin \psi + \cos \varphi \sin \theta \cos \psi & x_0 \\ \sin \varphi \cos \theta & \cos \varphi \cos \psi + \sin \varphi \sin \theta \sin \psi & -\cos \varphi \sin \psi + \sin \varphi \sin \theta \cos \psi & y_0 \\ -\sin \theta & \cos \theta \sin \psi & \cos \theta \cos \psi & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Векторное условие (1) для всех шести шатунов можно записать в скалярном виде:

$$(x^{A_i} - x^{N_i})^2 + (y^{A_i} - y^{N_i})^2 + (z^{A_i} - z^{N_i})^2 = l_i^2, \quad (i=1, 2, \dots, 6). \quad (4)$$

Выполнив подстановку в выражение (4) координат $x^{A_i}, y^{A_i}, z^{A_i}$ и $x^{N_i}, y^{N_i}, z^{N_i}$ на функциональном уровне получим систему из шести уравнений:

$$\begin{cases} F_1(x^{A_1}, x^{N_1}, y^{A_1}, y^{N_1}, z^{A_1}, z^{N_1}) - l^2 = 0 \\ F_2(x^{A_2}, x^{N_2}, y^{A_2}, y^{N_2}, z^{A_2}, z^{N_2}) - l^2 = 0 \\ F_3(x^{A_3}, x^{N_3}, y^{A_3}, y^{N_3}, z^{A_3}, z^{N_3}) - l^2 = 0 \\ F_4(x^{A_4}, x^{N_4}, y^{A_4}, y^{N_4}, z^{A_4}, z^{N_4}) - l^2 = 0 \\ F_5(x^{A_5}, x^{N_5}, y^{A_5}, y^{N_5}, z^{A_5}, z^{N_5}) - l^2 = 0 \\ F_6(x^{A_6}, x^{N_6}, y^{A_6}, y^{N_6}, z^{A_6}, z^{N_6}) - l^2 = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Если в системе уравнений (5) координаты точек $x^{A_i}, y^{A_i}, z^{A_i}, x^{N_i}, y^{N_i}, z^{N_i}$ выразить через переменные $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_6$ и $x, y, z, \varphi, \theta, \psi$, то станет очевидно, что входные переменные $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_6$ и выходные переменные $x, y, z, \varphi, \theta, \psi$ связаны через трансцендентные нелинейные выражения, не позволяющие разрешить выходные переменные в явном виде. Поэтому вычислительное решение в сделанной постановке возможно только численными методами [4].

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПЛАТФОРМЫ СРЕДСТВАМИ MATLAB/SIMULINK

На программном уровне моделирование перемещений платформы манипуляционного механизма формулируется в нахождении искоемых величин $x, y, z, \varphi, \theta, \psi$ определяющих положение и ориентацию подвижной площадки, в зависимости от входных значений углов поворота подвижных элементов шести приводов, входного вектора начальных значений $(x_0, y_0, z_0, \varphi_0, \theta_0, \psi_0)$ поиска решений и заданного метода оптимизации.

Под вектором начальных значений поиска решений понимают значения переменных $x_0, y_0, z_0, \varphi_0, \theta_0, \psi_0$ в области поиска решений начиная с которых происходит процесс оптимизации. Система нелинейных уравнений в вычислительном алгоритме – это совокупность уравнений с искомыми переменными $x, y, z, \varphi, \theta, \psi$. Процесс оптимизации происходит до тех пор пока значение оценочной функции в процессе итерационного поиска решений не станет меньше заданной точности или новые значения искоемых переменных параметров в процессе оптимизации изменяются на величину меньшую чем заданную предельно допустимую.

Для моделирования перемещений платформы манипуляционного механизма в пакете моделирования MATLAB/SIMULINK была создана расчётная программа. Интерфейс программы приведён на рис. 3.

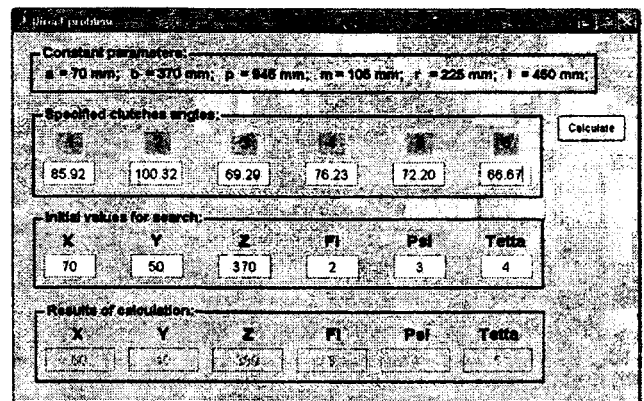


Рисунок 3 - Интерфейс программы моделирования перемещений

Для тестового примера рассмотрим случай нахождения положения (координаты x, y, z) и ориентации (углы φ, θ, ψ) подвижной площадки платформы относительно абсолютной (неподвижной) системы координат $OXYZ$ для заданных углов поворота $\sigma_1, \sigma_2 \dots, \sigma_6$) подвижных элементов (валов) шести приводов. Зададим следующие входные данные: $\sigma_1 = 85, 92^\circ, \sigma_2 = 100, 32^\circ, \sigma_3 = 69, 29^\circ, \sigma_4 = 76, 23^\circ, \sigma_5 = 72, 20^\circ, \sigma_6 = 66, 67^\circ$. Зададимся вектором начальных значений поиска решений $(x_0, y_0, z_0, \varphi_0, \theta_0, \psi_0)$, где величины $x_0, y_0, z_0, \varphi_0, \theta_0, \psi_0$ определяют начало поиска решений (точку спуска). Примем $x_0 = 70$ мм, $y_0 = 50$ мм, $z_0 = 370$ мм, $\varphi_0 = 2^\circ, \theta_0 = 4^\circ, \psi_0 = 3^\circ$.

Выходом из данной ситуации служит разработанный и реализованный в данной программе подход последовательных решений, в соответствии с которым, решение предыдущего этапа прямой задачи (значения искомым переменных $x, y, z, \varphi, \theta, \psi$) является входной начальной точкой спуска итерационного процесса нахождения новых конечных решений $x, y, z, \varphi, \theta, \psi$ для следующих значений $\sigma_1, \sigma_2 \dots, \sigma_6$. Как показывают результаты, такой подход имеет существенное преимущество при моделировании перемещений платформы манипуляционного механизма для плавно изменяющихся значений углов поворота управляющих валов двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Ahranovich, S. Karpovich, K. Zimmermann, J. Zentner Multicoordinate Positioning System for Industrial Equipment Design Method // Proceedings of 51st International Scientific Colloquium Ilmenau (Germany), September 11-15, 2006 TU-Ilmenau, 2006. - p.139-140.
2. Русецкий А.М. Координатные позиционеры гибких производственных систем для электронного машиностроения. – Мн.: Военная академия РБ, 1998. – 177 с.
3. Межинский Ю.С. Построение систем перемещений для гибкого автоматизированного оборудования. – Минск: Технопринт, 2002. – 120 с.
4. Карпович С.Е., Жарский В.В., Ляшук Ю.Ф., Межинский Ю.С. Прецизионные координатные системы на основе электропривода прямого действия. – Минск: ГНПКТМ «Планар», 2001. – 198 с.

УДК 621.313.84

Карпович С.Е., Поляковский В., Жарский В.В., Агранович А.А.

АНАЛИЗ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ КОЛЛИЗИЙ ПЛАНАРНЫХ ПОЗИЦИОНЕРОВ В СИСТЕМЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТРИПЛАНАР

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в станках с ЧПУ, промышленных роботах, автоматизированном измерительном и спецтехнологическом оборудовании все чаще используются параллельные манипуляционные системы (ПМС), которые характеризуются высокой структурной жесткостью, повышенными кинематическими и динамическими свойствами, хорошими массогабаритными показателями. К такому классу механизмов относится рассматриваемый в настоящей статье Трипланар [1], созданный совместными усилиями технического университета г. Ильменау (Германия), БГУИР (Минск) и СП Рухсервомотор (Минск).

Трипланар представляет собой ПМС в виде раскрывающегося тетраэдра (рис. 1,а), верхние ребра которого определяют подвижный треугольник (исполнительный элемент), с которым жестко связывается рабочая платформа с инструментом или заготовкой. Верхние ребра представляют собой шарнирные соединения, нижние выполнены таким образом, что