

ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ

© 2012 С.С. Панов¹, О.Н. Густова¹, П.Г. Мазеин²

¹ НПИ «Уралучтех» Национального исследовательского Южно-Уральского государственного университета, г. Челябинск

² Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Поступила в редакцию 07.03.2012

Выполнено моделирование манипулятора фрезерного станка-трипода, обеспечивающее инженерное решение прямой и обратной задачи его кинематики.

Ключевые слова: *модель, трипод, параллельная кинематика, интерфейс, станок*

Основные преимущества механизмов с параллельной кинематикой: лучшая грузоподъемность, высокая точность позиционирования рабочего органа, более высокая жесткость системы, высокие скорости и ускорения рабочего органа, высокая степень унификации мехатронных узлов. Машины на базе механизмов параллельной кинематики применяются в качестве вибрационных стендов, тренажеров, измерительных комплексов, позиционирующих устройств, манипуляторов и микроманипуляторов, металло-режущего оборудования [1-3]. Однако для малых предприятий и лабораторий учебных заведений их применение сдерживается стоимостью и значительными габаритами. Для решения этой проблемы была поставлена **цель**: создание настольного варианта манипулятора на базе параллельной кинематики. Для реализации цели необходимо решить следующие **задачи**: разработать упрощенный малогабаритный манипулятор, разработать математическую модель его кинематики с возможностью дальнейшей преобразования этой модели для проведения исследований на жесткость и точность, обеспечить решение прямой и обратной задач кинематики трипода, разработать алгоритмы, программы и интерфейс для решения этих задач, выполнить численные примеры решений и их оценку. При решении первой задачи спроектирован фрезерный станок «Дельта 1» с параллельной кинематикой (рис.1). Основные технические характеристики представлены в табл. 1.

Манипулятор состоит из трех высокоточных линейных приводов, находящихся на плите. В центре конструкции находится перемещаемая платформа на трех парных штангах. Линейный привод включает шаговый двигатель, шариковую пару, направляющие качения, два бесконтактных датчика. На основе геометрической

схемы (рис. 2) была разработана математическая модель кинематики станка, в табл. 2 указаны геометрические параметры трипода.

Таблица 1. Основные технические характеристики станка «Дельта 1»

количество линейных приводов	3
система управления	PCNC
порт управления	USB
размеры рабочей зоны (без учета вылета инструмента), мм	230x230x140
расчетная сила резания в рабочей зоне, Н	6
мощность привода фрезерной головки, Вт	450
габаритные размеры, мм	740x740x594
масса, кг	80

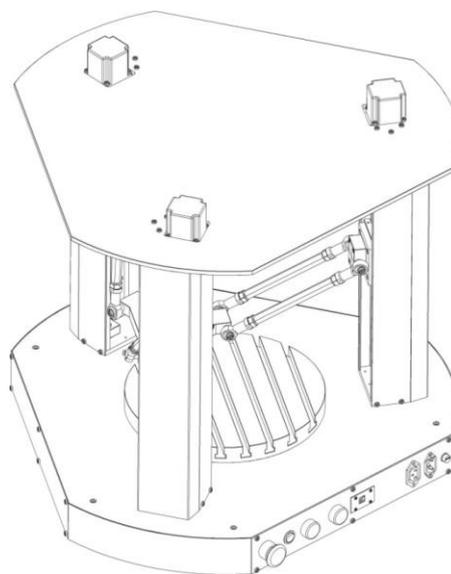


Рис. 1. Станок типа трипод «Дельта 1»

В прямой задаче по исходным заданным линейным перемещениям линейных приводов получаем положение подвижной платформы. В обратной задаче по исходным заданным координатам подвижной платформы определяем величины перемещений линейных приводов. При решении обратной задачи заданы: координаты

Панов Сергей Сергеевич, начальник отдела. E-mail: utsys@mail.ru

Густова Ольга Николаевна, инженер. E-mail: whisper_74@mail.ru

Мазеин Петр Германович, доктор технических наук, профессор кафедры «Станки и инструменты». E-mail: mpg2@mail.ru

центра (x_0, y_0, z_0) , $0 \leq z_0 \leq L$ стороны фигуры b и c , координаты x, y точек на осях: $x_1 = 0$; $y_1 = 0$; $x_2 = \frac{d}{2}$; $y_2 = \frac{d\sqrt{3}}{2}$; $x_3 = d$; $y_3 = 0$. Необходимо найти z_1, z_2, z_3 . Рассчитаем координаты точек (x_{01}, y_{01}, z_0) , (x_{02}, y_{02}, z_0) , (x_{03}, y_{03}, z_0) :

$$\begin{aligned} x_{01} &= x_0 - \frac{b}{2} - \frac{c}{4}; \\ y_{01} &= y_0 - \frac{b+2c}{2\sqrt{3}} + \frac{c\sqrt{3}}{4}; \\ x_{02} &= x_0; y_{02} = y_0 + \frac{b+2c}{\sqrt{3}} - \frac{c\sqrt{3}}{2}; \\ x_{03} &= x_0 + \frac{b}{2} + \frac{c}{4}; \\ y_{03} &= y_0 - \frac{b+2c}{2\sqrt{3}} + \frac{c\sqrt{3}}{4}. \end{aligned} \quad (1)$$

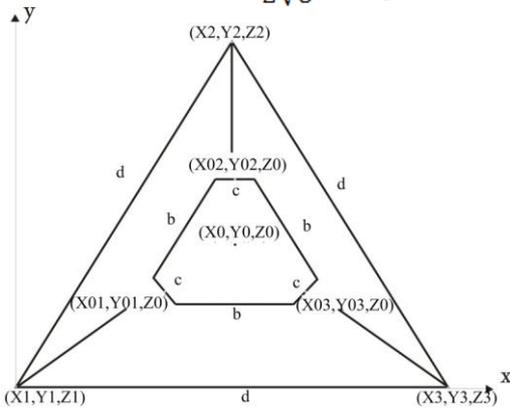


Рис. 2. Проекция звеньев трипода на плоскость OXY

Для того, чтобы подвижная платформа не пересекалась с осями звеньев необходима проверка расположения точек (x_{01}, y_{01}) , (x_{02}, y_{02}) , (x_{03}, y_{03}) внутри треугольника (рис. 2). Следовательно, должны выполняться условия:

$$\begin{aligned} y_{0i} &\leq y_2, \\ y_{0i} &\geq x_{0i} * (-\sqrt{3}) - \left(x_1 + \frac{c}{4}\right) * \\ &* (-\sqrt{3}) + y_1 - \frac{c\sqrt{3}}{4}, \quad (2) \\ y_{0i} &\geq x_{0i} * \sqrt{3} - \left(x_3 - \frac{c}{4}\right) * \sqrt{3} + y_3 - \frac{c\sqrt{3}}{4}, \\ &i = \overline{1,3}. \end{aligned}$$

Таким образом, получено решение обратной задачи кинематики трипода, удовлетворяющее требованиям его функционирования.

При решении прямой задачи дано: z_1, z_2, z_3 . $L - n - e \leq z_i \leq L - e$, $i = \overline{1,3}$. Расстояние между (x_{0i}, y_{0i}, z_0) и (x_i, y_i, z_i) , $i = \overline{1,3}$, равно a . Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} (x_1 - x_{01})^2 + (y_1 - y_{01})^2 + (z_1 - z_0)^2 = a^2 \\ (x_2 - x_{02})^2 + (y_2 - y_{02})^2 + (z_2 - z_0)^2 = a^2 \\ (x_3 - x_{03})^2 + (y_3 - y_{03})^2 + (z_3 - z_0)^2 = a^2 \end{cases} \quad (3)$$

Выполняя преобразования получим:

$$\begin{aligned} (kx * z_0 + cx)^2 + (ky * z_0 + cy)^2 + \\ + z_0^2 - 2 * z_1 * z_0 = c_1; \\ z_0^2(kx^2 + ky^2 + 1) + 2z_0 * \\ * (kx * cx + ky * cy - z_1) + cx^2 + cy^2 - c_1 = 0; \\ \frac{D}{4} = (kx * cx + ky * cy - z_1)^2 - \\ - (cx^2 + cy^2 - c_1) * (kx^2 + ky^2 + 1). \end{aligned} \quad (4)$$

Должно выполняться: $D \geq 0$. Нам необходимо меньшее значение z_0 :

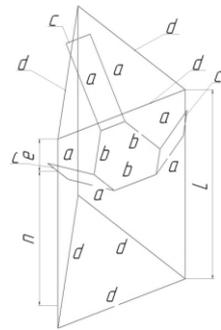
$$z_0 = \frac{-(kx * cx + ky * cy - z_1) - \sqrt{D}}{(kx^2 + ky^2 + 1)}.$$

Необходимо также выполнение условия: $z_0 \geq 0$. Таким образом, система решена. Для того, чтобы подвижная платформа не пересекалась с осями, проверим следующее условие. Через точки (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) проведем прямые, параллельные противолежащим сторонам d и проверим, чтобы точки (x_{01}, y_{01}) , (x_{02}, y_{02}) , (x_{03}, y_{03}) лежали внутри треугольника. Уравнения прямых:

$$\begin{aligned} y &= x * (-\sqrt{3}) - \left(x_1 + \frac{c}{4}\right) * (-\sqrt{3}) + y_1 - \frac{c\sqrt{3}}{4}, \\ y &= y_2, y = x * \sqrt{3} - \left(x_3 - \frac{c}{4}\right) * \\ &* \sqrt{3} + y_3 - \frac{c\sqrt{3}}{4} \end{aligned} \quad (5)$$

соответственно. Следовательно, должны выполняться условия:

$$\begin{aligned} y_{0i} &\leq y_2 \\ y_{0i} &\geq x_{0i} * (-\sqrt{3}) - \left(x_1 + \frac{c}{4}\right) * \\ &* (-\sqrt{3}) + y_1 - \frac{c\sqrt{3}}{4}; \\ y_{0i} &\geq x_{0i} * \sqrt{3} - \left(x_3 - \frac{c}{4}\right) * \\ &* \sqrt{3} + y_3 - \frac{c\sqrt{3}}{4}; \\ &i = \overline{1,3}. \end{aligned} \quad (6)$$



a	256
b	120.88
c	70
d	368
L	516
n	365
e	90

Рис. 3. Геометрическая схема разработанного трипода: a – длины штанг, b – размеры подвижной платформы; c – расстояние между штангами, L – длина линейных приводов; n – величина рабочего хода привода, e – верхняя зона ограничения перемещений; f – нижняя зона ограничения перемещений

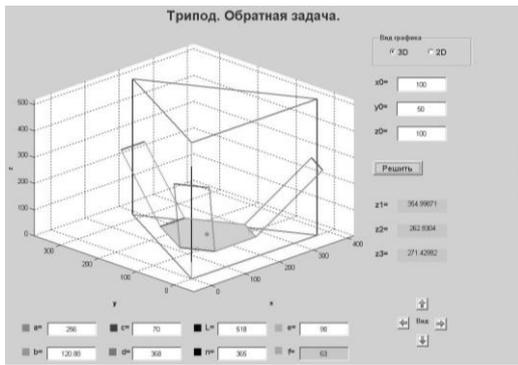


Рис. 4. Реализация примера решения обратной задачи кинематики трипода в MATLAB: x_0 , y_0 , z_0 – координаты центральной платформы, z_1 , z_2 , z_3 – координаты линейных перемещений кареток

На рис. 4 представлен пример решения и интерфейс обратной задачи кинематики трипода, выполненный в программе MATLAB 7.7.0 при заданных значениях линейных модулей. В центральной части окна программы программно визуализирована геометрическая модель трипода в 3D, в правом нижнем углу находятся клавиши изменяющие угол обзора модели. На рис. 5 представлен пример решения прямой задачи. Разработанная программа обеспечивает моделирование прямой и обратной задач для любой геометрии трипода. В математической модели заложены ограничения на пересечения шарниров, линейных штанг и выноса перемещаемой платформы за пределы рабочей зоны, при которых возникает заклинивание механизма трипода. Таким образом, создан настольный манипулятор для фрезерного станка «Дельта 1» с параллельной кинематикой, разработана математическую модель

его кинематики, выполнено решение прямой и обратной задач кинематики трипода, разработаны алгоритмы, программы и интерфейс для решения этих задач, выполнены численные примеры решения.

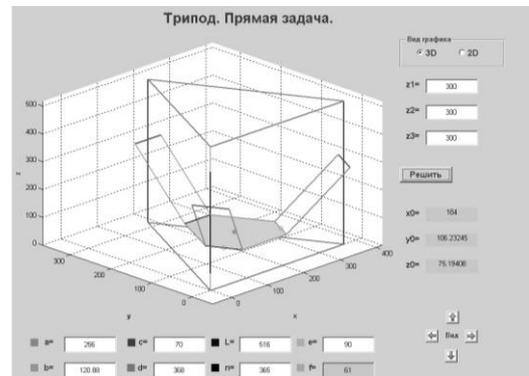


Рис. 5. Реализация примера решения прямой задачи в MATLAB

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Глазунов, В.А. Пространственные механизмы параллельной структуры: учебное пособие / В.А. Глазунов, А. Ш. Колискор, А.Ф. Крайнев. – М.: Наука, 1991. 94 с.
2. Кузнецов, Ю.Н. Компоновки станков с механизмами параллельной структуры / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Дмитриев, Г.Е. Диневич. – Херсон, 2010. 471 с.
3. Панов, С.С. Учебно-исследовательский стенд типа «Трипод» с параллельной кинематикой и компьютерным управлением / С.С. Панов, П.Г. Мазейн // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, №1(3). С. 724-726.

MILLING MACHINE WITH COLLATERAL KINEMATICS

© 2012 C.S. Panov¹, O.N. Gustova¹, P.G. Mazein²

¹ NPI “Uraluchteh” of National Research South Ural State University, Chelyabinsk

² National Research South Ural State University, Chelyabinsk

Modeling of manipulator of the milling machine-tripod, providing engineering solution of direct and inverse problem of its kinematics is made.

Key words: *model, tripod, collateral kinematics, interface, machine tool*