

УДК 62-236.58

ПОСТРОЕНИЕ МНОГОКООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА БАЗЕ МЕХАНИЗМА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКИ

Е.А. ЛИТВИНОВ¹, В.В. ЖАРСКИЙ², М.А. АРЕБИ¹

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

²РухСервисМотор
Монтажников, 5, Минск, 220019, Беларусь

Поступила в редакцию 21 октября 2009

Рассмотрен исполнительный механизм параллельной структуры для построения на его основе многокоординатной системы перемещений. Параллельный механизм структурно обеспечивает возможность реализации сложного движения с шестью степенями свободы подвижной платформы по отношению к неподвижному основанию системы перемещений. Представлены алгоритм и программа моделирования решения обратной задачи кинематики для рассматриваемого параллельного механизма. В результате компьютерного моделирования также получены рабочие области механизма, описывающие граничные возможности по перемещению мобильной платформы.

Ключевые слова: многокоординатная система перемещений, механизм параллельной кинематики, обратная задача кинематики, рабочая область механизма.

Введение

Повышение точностных и динамических характеристик автоматизированного оборудования, используемого в микроэлектронике и приборостроении, промышленных роботах, сложных фрезерных и сверлильных станках, мобильных платформах для телескопов, лазеров, телекоммуникационных антенн, требует совмещения технологических и транспортных перемещений в одном исполнительном устройстве [1]. Одними из наиболее перспективных систем в этом направлении выступают многокоординатные системы перемещений, построенные на базе механизмов параллельной кинематики. Такие системы обладают большей жесткостью и динамической устойчивостью кинематических узлов и механизмов в целом при той же кинематической мобильности, а также посредством выбора оптимальной структуры и геометрии подвижных звеньев позволяют находить область рабочего пространства, в которой кинематические и точностные параметры выше, чем у исполнительных механизмов на входе системы [2]. Это одна из определяющих особенностей систем с механизмами параллельной кинематики, в которых за счет кинематической мультипликации и редукции, а также усреднения случайных составляющих в динамических и точностных характеристиках, достигается в процессе кинематического преобразования существенное повышение параметров назначения автоматизированного оборудования.

В работе рассматривается кинематический анализ многокоординатной системы перемещений построенной на базе механизма параллельной кинематики заданной конфигурации. В рамках данной работы кинематический анализ включает структурный анализ и моделирование решения обратной задачи кинематики. Моделирование решения обратной задачи кинематики и полученные на его основе предварительные расчеты позволяют

определить оптимальные параметры структуры и геометрии подвижных звеньев параллельного механизма, а также вычислить и исследовать рабочую область исполнительного механизма. Кроме того, алгоритмы решения обратной задачи кинематики непосредственно закладываются в систему управления многокоординатной системы перемещений. Алгоритмизация кинематических моделей и их последующая компьютерная симуляция являются главными инструментами современного расчета на начальной стадии проектирования многокоординатной системы перемещений.

Параллельный механизм многокоординатной системы перемещений

Многокоординатная система перемещений строится на основе механизма с параллельными кинематическими цепями и связями, структурная схема которого представлена на рис. 1.

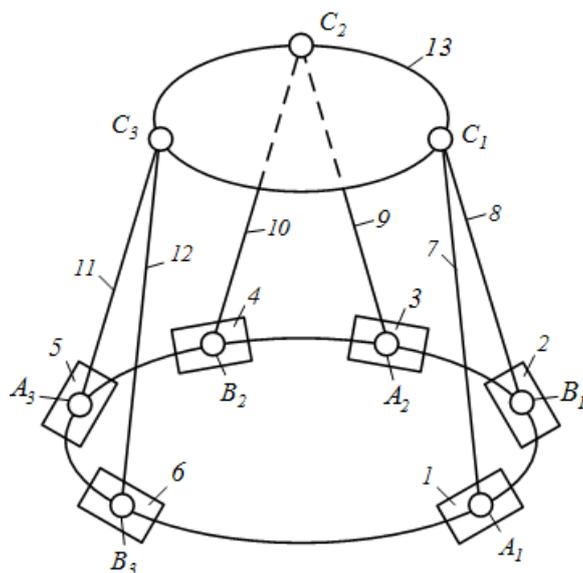


Рис. 1. Структурная схема параллельного механизма

Входными звеньями рассматриваемого параллельного механизма являются подвижные индукторы кругового привода прямого действия с шестью независимыми сегментами (рис. 1), перемещающиеся по круговой направляющей неподвижного кольца. Выходным звеном механизма, которое является исполнительным, выступает подвижное кольцо 13, задаваемое на структурных и кинематических системах радиусом r , на окружности которого находятся подвижные сферические шарниры C_1, C_2, C_3 . Сферические шарниры C_1, C_2, C_3 образуют подвижную платформу механизма.

Расчет числа степеней свободы такого механизма может быть выполнен по формуле Сомова–Малышева [3]:

$$W = 6n - \sum_{k=1}^5 kp_k - q, \quad (1)$$

где $n=13$ — число подвижных звеньев механизма; $p_3=12$ — число кинематических пар третьего класса; $p_5=6$ — число кинематических пар пятого класса; $q=6$ — число лишних степеней свободы механизма.

С учетом этого по формуле (1) получим: $W=6 \cdot 13 - 5 \cdot 6 - 3 \cdot 12 = 6$.

Это значит, что рассматриваемый исполнительный механизм структурно обеспечивает возможность реализации сложного движения с шестью степенями свободы подвижной платформы по отношению к неподвижному основанию, включая три линейных и три угловых перемещения. Угловые ориентационные движения исполнительной платформы описываются углами Эйлера φ, θ, ψ , которые задаются с помощью координатных представлений базовых

точек системы [3]. Следует отметить, что представленный параллельный механизм позволяет реализовывать любые поворотные движения платформы вокруг оси, расположенной перпендикулярно базовой плоскости неподвижного основания многокоординатной системы перемещений, что обеспечивает существенное преимущество в сравнении с другими применяемыми подобными параллельными механизмами [4].

Моделирование решения обратной задачи кинематики

Конфигурация и кинематика параллельного механизма, представленного на рис. 1 однозначно определяется положением ведущих звеньев (1, 2, ..., 6), конструктивно выполненных в виде подвижных управляемых сегментов поворотного привода, законы движения которых определяются исходя из заданного положения и ориентации подвижной платформы по отношению к системе координат $OXYZ$, жестко связанной с неподвижным кольцевым основанием. Подвижная платформа механизма связана с системой координат $oxuz$.

Обратная задача кинематики для рассматриваемого параллельного механизма формулируется следующим образом. Необходимо по положению и ориентации подвижной системы шести координат $oxuz$, задаваемому дискретным образом или параметрически в неподвижной системе координат $OXYZ$, найти положение сегментов 1, 2, ..., 6, определяемых в системе координат $OXYZ$ координатами точек, соответственно A_i, B_i ($i=1, 2, 3$). Положение и ориентация подвижной системы координат $oxuz$ характеризуется соответственно координатами точки O (x, y, z) и углами Эйлера φ, θ, ψ независимых поворотов, обеспечивающих угловые совмещения подвижной и неподвижной систем координат.

Решение обратной задачи кинематики в работе осуществлено на основании геометро-аналитического подхода, основанного на аналитической геометрии в трехмерном пространстве и матричных преобразованиях. Предложенный подход позволил получить аналитические уравнения связи входных, выходных переменных и конструктивных параметров механизма разрешенные в явном виде относительно искомым выходных переменных, определяемых координатами точек A_i, B_i ($i=1, 2, 3$).

Расчетный алгоритм решения обратной задачи кинематики составляется, опираясь на проведенный математический анализ. Кроме основной процедуры расчета положений шести сегментов управляющего привода, определяемых координатами точек соответственно A_i, B_i ($i=1, 2, 3$), для заданного положения и ориентации подвижной платформы найденные значения искомым координат должны обеспечивать возможность бесколлизийной работы подвижных сегментов управляющего привода механизма. Блок-схема расчетного алгоритма решения обратной задачи кинематики представлена на рис. 2.

На этапе определения конечных значений координат подвижных сегментов привода происходит идентификация рассчитанных значений пар координат (x, y) промежуточных точек A_i, B_i ($i=1, 2, 3$) для строго заданной в пространстве последовательности ($A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow A_2 \rightarrow B_2 \rightarrow A_3 \rightarrow B_3$) конечных точек. Расчетный алгоритм определения конечных значений координат подвижных сегментов привода представлен на рис. 3. Представленный на рис. 3 алгоритм обеспечивает бесколлизийную работу подвижных сегментов управляющего привода.

Для моделирования решения обратной задачи кинематики рассматриваемого параллельного механизма в среде математического моделирования MATLAB/Simulink в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 2, реализована расчетная программа, интерфейс которой приведен на рис. 4.

Представленная на рис. 4 программа позволяет находить решение обратной задачи кинематики для задаваемых координат положения и ориентации платформы механизма в пространстве. Решение представляется в виде рассчитанных координат (x, y) подвижных сегментов A_i, B_i ($i=1, 2, 3$) привода. Каждому такому решению однозначно соответствует пространственное состояние механизма, визуализация которого отображается в окне вывода результатов программы (рис. 4). Разработанная программа позволяет проводить пошаговое моделирование и визуализацию решения обратной задачи кинематики для изменяющихся на каждом шаге входных переменных — координат положения и ориентации платформы механизма.



Рис. 2. Расчетный алгоритм решения обратной задачи кинематики

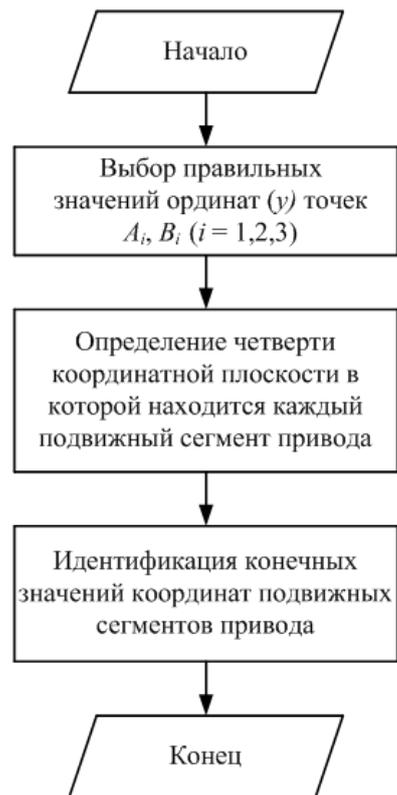


Рис. 3. Расчетный алгоритм определения координат привода

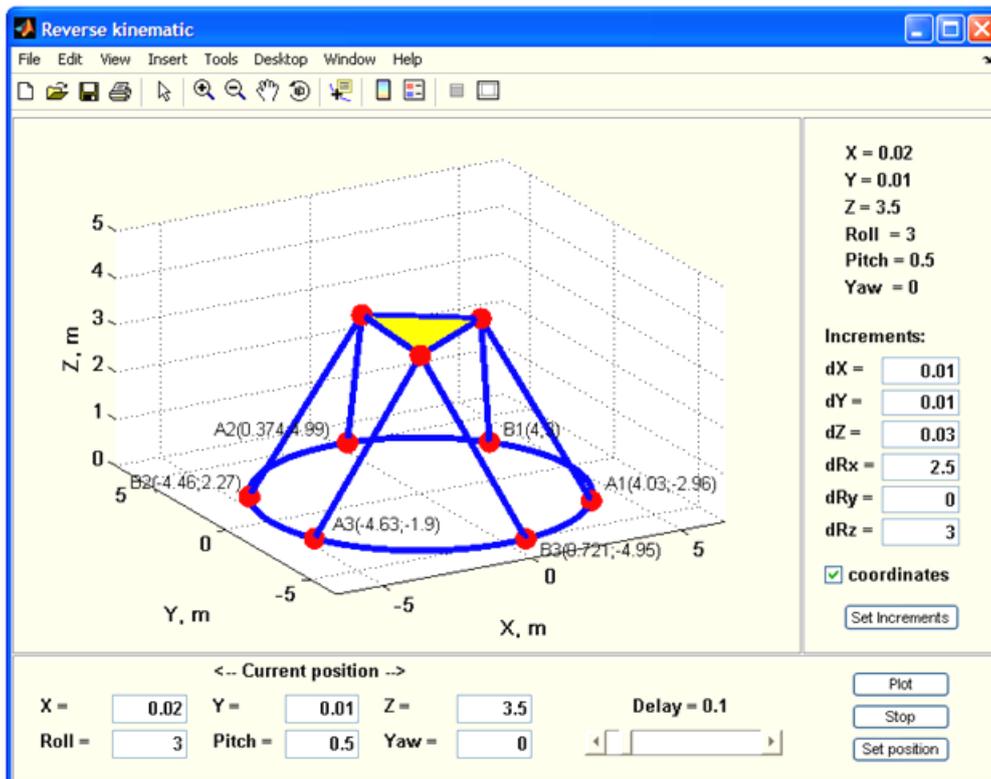


Рис. 4. Интерфейс программы моделирования решения обратной задачи кинематики

Используя программу моделирования решения обратной задачи кинематики можно проводить исследование движения платформы механизма из заданного положения и ориентации в некоторое искомое состояние, в котором она оказывается после пошагового изменения входных переменных на задаваемые в программе соответствующие инкрементные приращения. На каждой итерации имеется возможность проследить текущие состояния сегментных позиционеров, которые обозначены в программе как A_i, B_i ($i=1, 2, 3$). Это является удобным средством тестирования и верификации алгоритма бесколлизонной работы подвижных сегментов привода.

Для исследования предельных возможностей движения платформы параллельного механизма на основе алгоритма решения обратной задачи кинематики в среде MATLAB/Simulink реализована программа для построения рабочих областей многокоординатной системы перемещений для заданных входных переменных $x, y, z, \varphi, \theta, \psi$, описывающих положение и ориентацию платформы.

На рис. 5 представлены построенные рабочие области для углов Эйлера.

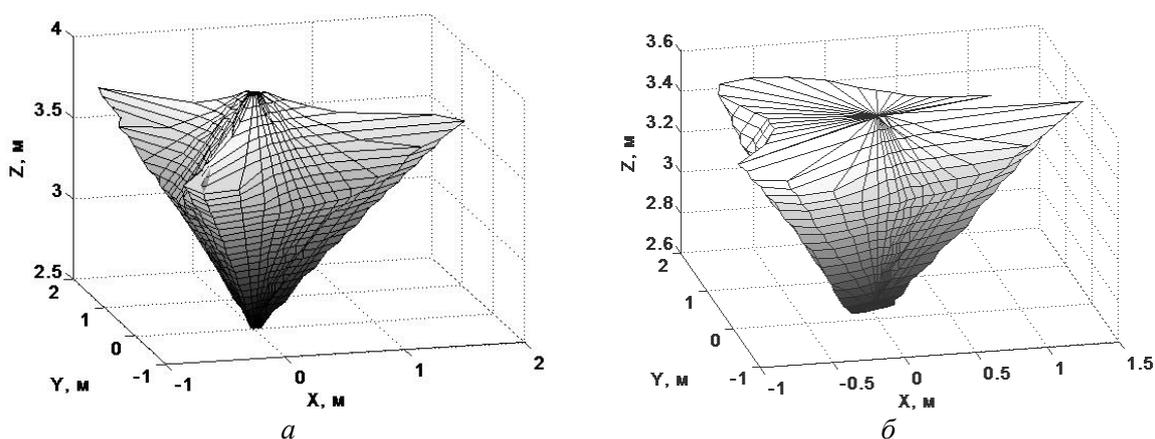


Рис. 5. Рабочие области для углов Эйлера: a — $\varphi=0, \theta=0, \psi=0$; b — $\varphi=0, \theta=10, \psi=10$

Из рис. 5 следует, что рабочие области параллельного механизма напрямую зависят от углов Эйлера φ, θ, ψ , описывающих ориентацию мобильной платформы в пространстве. Построение рабочих областей позволяет исследовать и правильно оценить предельные возможности перемещения платформы параллельного механизма в трехмерном пространстве.

Заключение

В работе предложено построение многокоординатной системы перемещений на базе параллельного механизма заданной конфигурации. Приведенный расчет числа степеней свободы механизма доказывает возможность реализации им сложного движения с шестью степенями свободы. Представленный кинематический анализ параллельного механизма позволяет анализировать особенности управления его мобильной платформы при помощи шести независимых сегментов кругового привода прямого действия. На основе предложенного в работе расчетного алгоритма решения обратной задачи кинематики в среде MATLAB/Simulink реализована программа моделирования решения обратной задачи кинематики. Используя разработанную программу, можно осуществлять поиск текущего и пошагового решения обратной задачи кинематики, а также проводить исследование непрерывного движения платформы механизма в пространстве. Предложенный в работе алгоритм решения обратной задачи кинематики может быть непосредственно заложен в систему управления проектируемой многокоординатной системы перемещений.

THE MULTI-DEGREE-OF-FREEDOM MOVEMENT SYSTEM CONSTRUCTION ON THE BASIS OF PARALLEL MECHANISM

Y.A. LITVINAU, V.V. ZHARSKY, M.A. AREBI

Abstract

The actuating mechanism with parallel structure for multi-degree-of-freedom movement system construction has been considered. The parallel mechanism structurally provides a capability of a complicated multi-degree-of-freedom movement realization of the mobile platform with respect to the fixed base of the movement system. The inverse problem solution algorithm and modeling program for the considered parallel mechanism are presented. The mechanism's work spaces that describe the mobile platform boundary movement capabilities have been obtained as a result of a computer modeling.

Литература

1. Карпович С.Е. Межинский Ю.С., Жарский В.В. // Докл. БГУИР. 2004. № 3. С. 50–61.
2. Bonev I.A. Geometric Analysis of Parallel Mechanisms, thèse de doctorat, Université Laval, Québec, QC, Canada, novembre 2002. // <http://www.gpa.etsmtl.ca/prof/ibonev/ThesisBonev.pdf>.
3. Голдстейн Г. Классическая механика. М., 1975.
4. Karpovich S., Jarski V., Litvinov E. // Energia w nauce i technice: Materiały VII Konferencja naukowo-praktyczna. Białystok-Suwalki, 2008. P. 226–232.