

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА С ШЕСТЬЮ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

Литвинов Е.А.

Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, Минск

The six degree of freedom spatial manipulator has been examined. The MATLAB/Simulink process of dynamics simulation for investigated parallel mechanism has been outlined in the paper. As a result the control model is presented to carry out simulation of parallel manipulator's movement according to the input actuation.

Введение

Системы многокоординатных пространственных перемещений, построенные на базе механизмов с параллельными кинематическими связями, находят широкое применение в различных областях робототехники, при автоматизации технологических процессов в машиностроении и приборостроении [1]. Такие особенности параллельных механизмов как высокая жёсткостью конструкции манипулятора, динамическая устойчивость кинематических узлов, высокая грузоподъёмность обеспечивают повышенные динамические характеристики системы перемещений в целом по сравнению с аналогами, сконструированными на основе механизмов с последовательными кинематическими связями. В процессе проектирования системы перемещений, построенной на базе механизмов с параллельными кинематическими связями необходимо учитывать динамические особенности манипулятора с заданными конструктивными параметрами, чтобы верно оценить выходные динамические характеристики и правильно сформировать требования к выбору силовой исполнительской части системы. Это обуславливает необходимость в проведении динамического анализа, с разработкой и непосредственно реализацией адекватной модели, описывающей поведение параллельного манипулятора в состоянии динамического движения и равновесия.

Моделирование динамики параллельного манипулятора

Рассматриваемый параллельный механизм с шестью степенями свободы, в соответствии с его кинематической схемой (рис. 1), состоит из подвижной площадки $P(A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6)$, звеньев r_1, r_2, \dots, r_6 , жёстко связанных с вращающимися элементами двигателей $O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, O_6$, которые, в свою очередь, посредством сферических шарниров и промежуточных шатунов l_1, l_2, \dots, l_6 связаны с площадкой P . В соответствии с кинематической схемой механизма (рис. 1) звенья r_1, r_2, \dots, r_6 являются входными, законы перемещения которых, задаются непосредственно управляющими двигателями.

Моделирование динамики (динамического движения) параллельного манипулятора с шестью степенями свободы с кинематической схемой и наглядной структурой, представленных на рис. 1 и рис. 2 соответственно, базируется на построении адекватной динамической модели (модели динамики), которая учитывает в математическом описании физическую структуру механизма,

геометрические, кинематические и динамические особенности его составных частей [2].

Рассматриваемый параллельный механизм с шестью степенями свободы имеет довольно сложную кинематическую структуру (число подвижных звеньев – 13, число кинематических пар 5-го класса – 6, число кинематических пар 3-го класса – 12), что требует огромной трудоемкости при составлении описания модели системы на основе уравнений динамики [3]. В этой связи оптимальное построение динамической модели исполнительного манипулятора и её последующая компьютерная симуляция являются одними из главных задач при проектировании подобных систем перемещений.

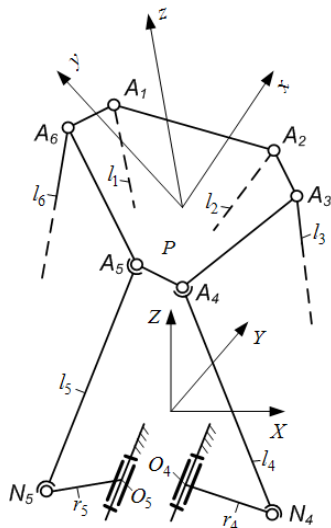


Рис. 1. Кинематическая схема параллельного механизма

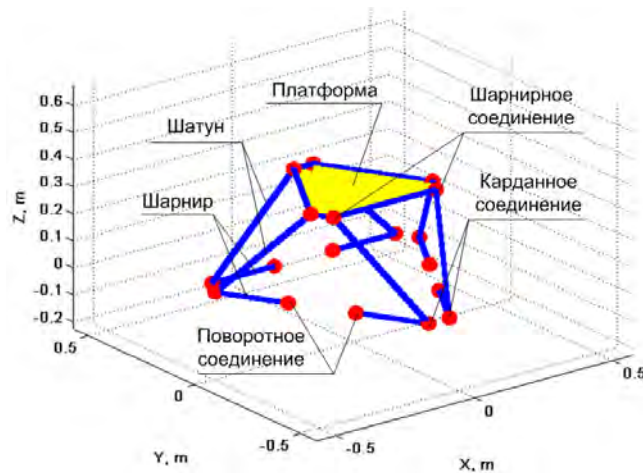


Рис. 2. Структура параллельного механизма

Быстрое построение и реализация динамической модели параллельного механизма с шестью степенями свободы может быть достигнуто с привлечением программных возможностей современных сред моделирования, таких как MATLAB/Simulink. Концепция построения динамической модели в среде MATLAB/Simulink основывается на реализации представления физической структуры объекта, геометрических и кинематических связей между его структурными и функциональными частями. В процессе моделирования среда MATLAB/Simulink автоматически осуществляет преобразование структурного представления объекта во внутреннюю эквивалентную математическую модель. Это, таким образом, значительно упрощает построение и реализацию динамической модели всей системы, не требуя использования сложных дифференциальных уравнений, отображающих механические компоненты механизма [4].

Для моделирования динамики параллельного механизма с шестью степенями свободы, представленного на рис. 1 и рис. 2, в среде MATLAB/Simulink было разработано соответствующее структурно-динамическое описание рассматриваемого манипулятора, непосредственная реализация которого представлена на рис. 3. Механическая часть манипулятора состоит из неподвижной базы, подвижной платформы (*TopPlate*) и шести последовательных кинематических цепей (*Leg1, Leg2, ..., Leg6*), соединяющих платформу и базу. Каждая последовательная цепь параллельного механизма, как было сказано ранее,

состоит из двух тел – шатуна и шарнира, соединенных карданным соединением. Для имитации неподвижной базы системы, которая в реальности представлена шестью поворотными исполнительными двигателями, в структурно-динамическом описании используются элементы фиксации с неподвижным основанием. Каждый такой элемент жёстко соединён с шарниром соответствующей кинематической цепи посредством поворотного соединения с одной степенью свободы. Аналогичным образом с подвижной платформой, которая представлена одним однородным элементом, посредством шаровых соединений соединены шесть шатунов. В структурно-динамическом описании манипулятора, представленном на рис. 3, на входе задаются вращающие моменты (T_1, T_2, \dots, T_6) исполнительных поворотных элементов системы, в результате действия которых подвижная платформа механизма переходит в соответствующее положение и ориентацию.

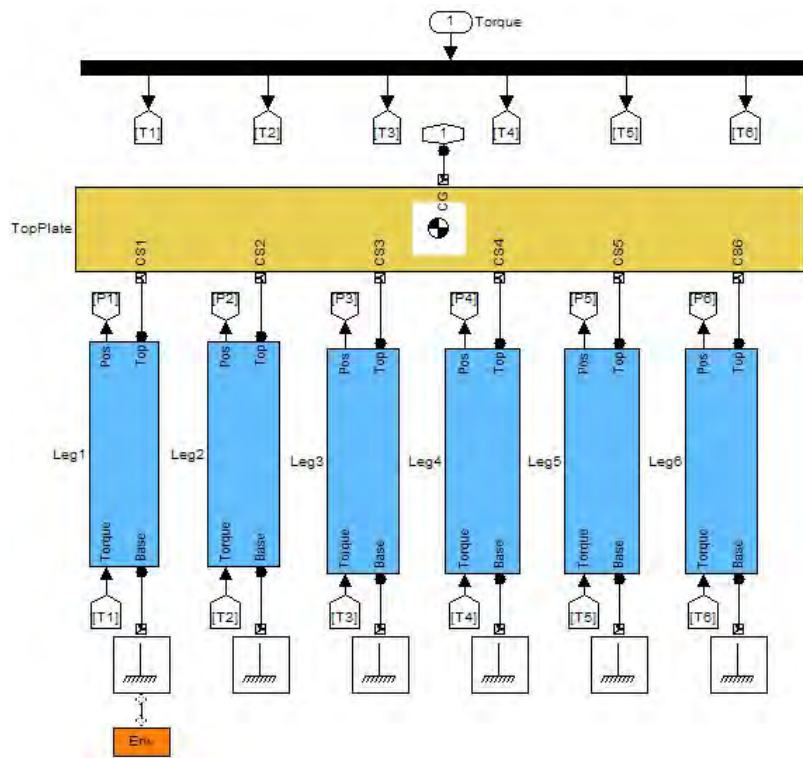


Рис. 3. Структурно-динамическое описание манипулятора в среде MATLAB/Simulink

Для моделирования движения платформы используется элемент *Joint Actuator*, входящий в модель каждой отдельной последовательной кинематической цепи *Leg1, Leg2, \dots, Leg6* параллельного механизма (рис. 4), на вход которой подается управляющий сигнал, представляющий собой функциональную зависимость изменения вращающего момента T во времени.

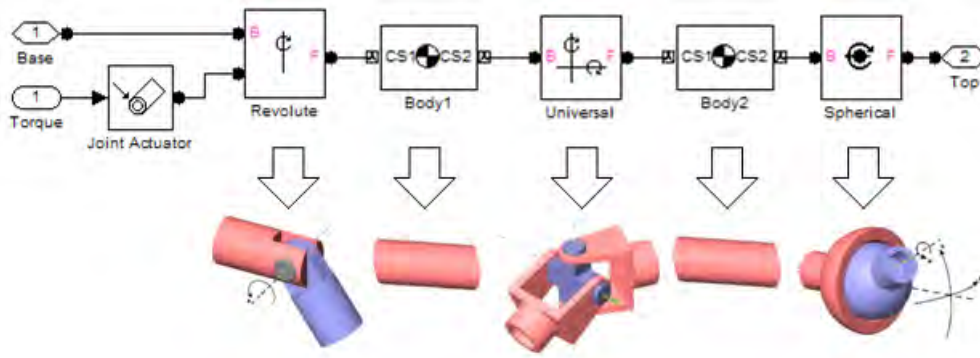


Рис. 4. Структурно-динамическое представление последовательной кинематической цепи параллельного механизма в среде MATLAB/Simulink

Каждая структурная часть механизма в среде MATLAB/Simulink описывается координатами расположения в пространстве, координатами центра масс, массой и тензором моментов инерции. Динамические свойства каждой структурной части механизма в среде MATLAB/Simulink задаются массой и тензором моментов инерции [5]. Тензор моментов инерции описывает внутреннее распределение массы и угловое ускорение, которое получает тело при действии на него вращающего момента.

Для моделирования динамики параллельного манипулятора были приняты следующие параметры механизма: масса каждого шарнира и шатуна – 2 и 4 кг соответственно, их толщина – 1 см, длина шарнира – 225 мм, длина шатуна – 450 мм, масса платформы – 10 кг, геометрические размеры шестиугольной платформы: большая сторона – 370 мм, меньшая сторона – 70 мм. Рассчитанные тензоры моментов инерции шарнира, шатуна и платформы соответственно равны J_1, J_2, J_3 ($кг \cdot м^2$):

$$J_1 = \begin{pmatrix} 8,44 \cdot 10^{-3} & 0 & 0 \\ 0 & 1,67 \cdot 10^{-5} & 0 \\ 0 & 0 & 1,67 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix},$$

$$J_2 = \begin{pmatrix} 6,75 \cdot 10^{-2} & 0 & 0 \\ 0 & 6,75 \cdot 10^{-2} & 0 \\ 0 & 0 & 1,67 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix}, J_3 = \begin{pmatrix} 0,14 & 0 & 0 \\ 0 & 0,14 & 0 \\ 0 & 0 & 0,279 \end{pmatrix};$$

Реализованное в среде MATLAB/Simulink структурно-динамическое описание параллельного манипулятора системы перемещений может быть также представлено в виде визуализированной пространственной динамической модели механизма, где каждая структурная часть представляется эквивалентным по массе и тензору моментов инерции однородным эллипсоидом (рис. 5):

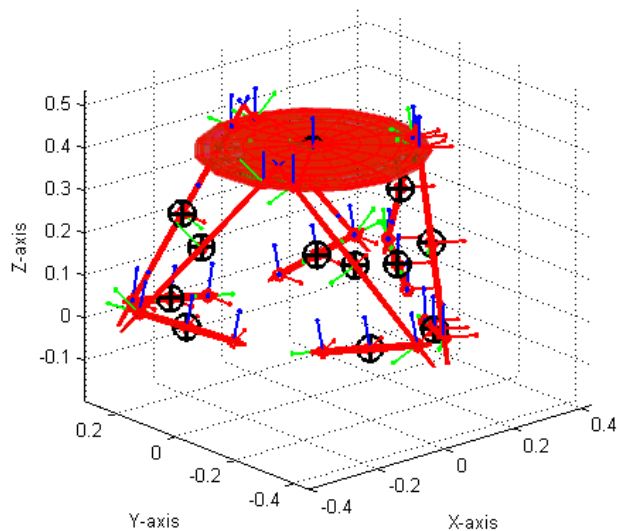



Рис. 5. Пространственная динамическая модель параллельного механизма

На рис. 5 центры масс структурных частей параллельного механизма обозначены символами \oplus , а локальные системы координат как .

Пространственная динамическая модель параллельного манипулятора напрямую отражает состояние системы и служит удобным средством тестирования поведения платформы механизма в пространстве.

Имитационная модель управления параллельным манипулятором

Для моделирования заданного движения платформы с учетом структурных и динамических особенностей параллельного механизма в среде MATLAB/Simulink разработана и реализована имитационная модель управления параллельным манипулятором. Структурная схема имитационной модели управления представлена на рис. 6.

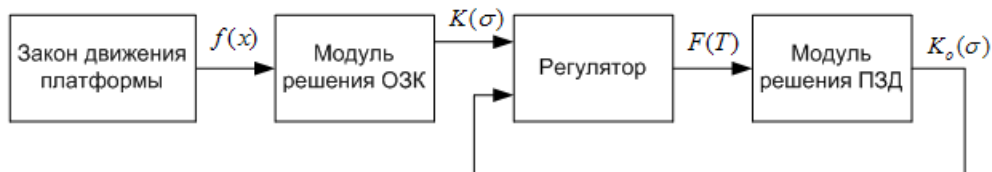


Рис. 6. Структурная схема имитационной модели управления

На рис. 6 в имитационной модели управления $f(x)$ – задаваемый закон движения платформы параллельного манипулятора; $K(\sigma)$ – функция изменения поворотных углов; $F(T)$ – изменение вращающих моментов поворотных элементов манипулятора; $K_o(\sigma)$ – текущие угловые положение поворотных элементов манипулятора; модуль решения ОЗК – модуль решения обратной задачи кинематики, осуществляющий непосредственное решение обратной задачи кинематики для заданного положения и ориентации платформы; модуль решения ПЗД – модуль решения прямой задачи динамики, представляющий собой динамическую модель параллельного манипулятора. В качестве регулятора в имитационной модели управления используется ПИД-регулятор.

Особенностью имитационной модели управления является возможность учета динамических характеристик манипуляторами, что обеспечивает более высокую точность и корректность имитационного управления. Имитационная модель управления позволяет проводить моделирование заданного закона движения платформы путем решения прямой задачи динамики и получать такие оцениваемые характеристики параллельного манипулятора как положение, скорость, ускорение платформы, изменение вращающих моментов на поворотных элементах системы, реакционные силовые взаимодействия кинематических узлов механизма. Полученные выходные характеристики изменения вращающих моментов и угловых ускорений поворотных элементов системы могут быть напрямую использованы в качестве основных требований при выборе силовой исполнительской части многокоординатной системы перемещений.

Литература

1. Манипуляционные системы роботов / А. И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л. И. Тывес и др.; Под общ. ред. А. И. Корендясева. – М.: Машиностроение, 1989. – 472 с.
2. Y. Litvinau / V. Jarski / M. Arebi. The Simulation of Parallel Mechanisms in MATLAB/Simulink Development Environment // Proceedings of 53rd International Scientific Colloquium Ilmenau (Germany), September 8 -12, 2008 TU-Ilmenau, 2008.
3. S. Karpovich, V. Jarski, E. Litvinov. The 6-DOF Spatial Parallel Mechanism Control System Computer Simulation // Energia w nauce i technice: Materialy VII Konferencja naukowo – praktyczna., Bialystok-Suwalki, 2008. – P.226-232.
4. <http://www.mathworks.com/products/simmechanics/index.html?ref=pfo>
5. MATLAB. The Language of Technical Computing. The MathWorks, Inc., MA.: Natick, 2004. – 1298 p