

УДК 621.01

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ И АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ С ПОСТУПАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА

© Татьяна Витальевна Сусакова, Виолетта Владимировна Самойлова,
Антон Игоревич Едакин, Владимир Сергеевич Рамжаев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия

tatiana.susakova.00@mail.ru

Аннотация. Механизмы параллельной структуры имеют широкий спектр применения во многих отраслях. В связи с различным их исполнением в статье проводится структурный синтез и анализ двух видов механизмов параллельной структуры, относящихся к подклассу механизмов с поступательным движением выходного звена.

Ключевые слова: механизм, параллельная структура, манипулятор, поступательное движение, привод, кинематическая цепь, степень свободы.

STRUCTURAL SYNTHESIS AND ANALYSIS OF MECHANISMS OF PARALLEL STRUCTURE WITH PRISMATIC MOTION OF THE OUTPUT LINK

© T.V. Susakova, V.V. Samoiloa, A.I. Edakin, V.S. Ramzhaev

IMASH RAN, Moscow, Russia

tatiana.susakova.00@mail.ru

Abstract. Parallel structure mechanisms have a wide range of applications in many industries. There are different versions of type diagrams of mechanisms. Therefore, the article carries out structural synthesis and analysis of two types of parallel structure mechanisms related to a subclass of mechanisms with prismatic motion of the output link.

Keywords: mechanism, parallel structure, manipulator, prismatic motion, drive, kinematic chain, degree of freedom.

Механизмы параллельной структуры в настоящее время применяются во многих отраслях. Они широко используются в строительстве, при производстве различных деталей и изделий сложной формы из различных материалов, в медицинских роботах, системах аддитивного производства [1 - 3]. Применение параллельной структуры в механизмах наделяет их рядом преимуществ по сравнению с механизмами последовательной структуры, так как позволяет обеспечить более высокую жесткость конструкции, а также уменьшить массу подвижных частей механизма, что, в свою очередь, снижает нагрузку на двигатели [4].

В связи с широким спектром применения данных механизмов имеет место многообразие схем их исполнения с различным числом степеней свободы. В частности, в отдельный подкласс отнесены механизмы с поступательным движением выходного звена, поэтому актуальной является проблема синтеза и анализа данных механизмов.

Известны схемы параллельной структуры, такие как робот «Delta», изобретенный Р. Клавелем, основной идеей которого является применение шарнирных параллелограммов для сохранения постоянной ориентации рабочего органа [6]. Манипулятор «Паминса» (В. Аракелян и С. Брио) позволяет двигаться платформе в вертикальной плоскости независимо от смещения в горизонтальном направлении [7]. Манипуляционный механизм «Orthoglide», схожий по строению с роботом «Delta», также имеет в составе шарнирные параллелограммы, однако вращательные приводы заменены на поступательные [8].

В данной работе ставится задача структурного анализа двух видов манипуляторов параллельной структуры с тремя степенями свободы, которые включают по три кинематические цепи, содержащие линейный двигатель в каждой цепи.

Первый из них – пространственный манипулятор параллельной структуры, осуществляющий поступательное перемещение рабочего органа по трем осям и обладающий свойством «изоморфности», то есть сохранения постоянства передаточного отношения между перемещениями в приводах и перемещениями рабочего органа. Данный механизм является результатом доработки схемы известного робота «Izoglide» [9]. Доработка осуществлялась на основе исследований, проводимых в Институте машиноведения им. А.А. Благонравова РАН [10-12].

Манипулятор построен на основе трех кинематических цепей и трех линейных двигателей, оси которых расположены ортогонально друг другу. Каждая кинематическая цепь, кроме двигателя, имеет три последовательно расположенные вращательные кинематические пары с параллельными осями и два звена, перемещающиеся в плоскостях, перпендикулярных оси соответствующего привода.

В ходе анализа выявлено, что приводной узел может быть выполнен иначе, чем в исходном механизме. Поступательный двигатель можно заменить вращательным, снабженным винтовой кинематической парой (рис.1). В данном случае двигатель вращает винт, перемещающий гайку, сопряженную с поступательной кинематической парой вдоль горизонтальной оси.

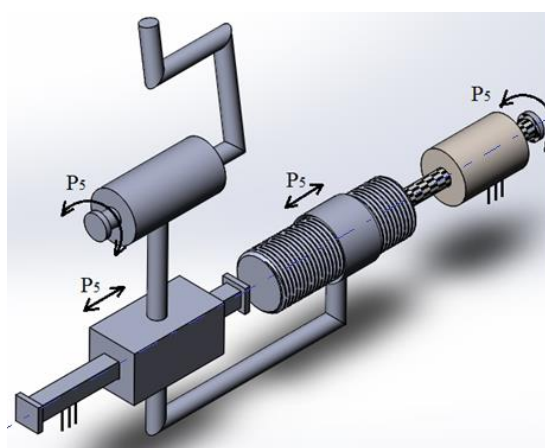


Рис. 1. Вращательный привод с винтовой кинематической парой

Дальнейшим развитием данной схемы является представление поступательной кинематической пары в каждой цепи в виде двух плоских структурных групп Ассур,

обуславливающих поступательное перемещение без наличия ползуна и направляющих. Перемещение поступательной кинематической пары вдоль оси действия двигателя осуществляется посредством вращения винта (рис. 2).

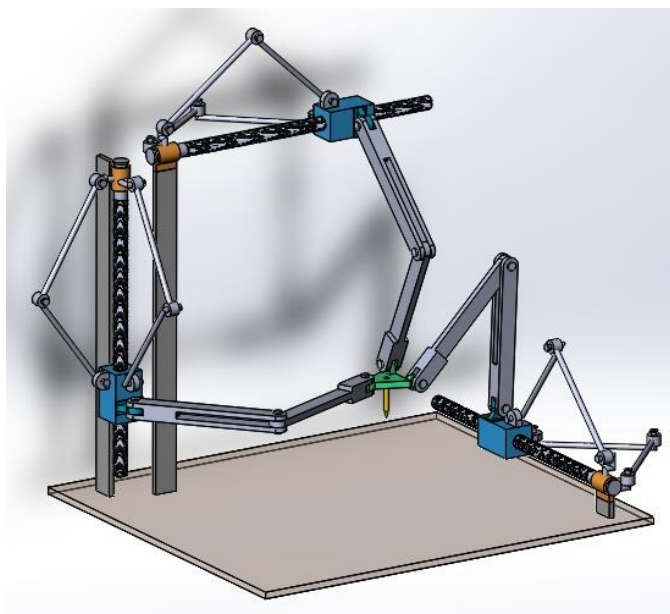


Рис. 2. Механизм с тремя степенями свободы на основе робота «Izoglide»

Для того чтобы определить число степеней свободы данного пространственного механизма, применяется общая структурная формула Сомова-Малышева:

$$W = 6 \cdot (n - 1) - 5 \cdot p_5 = 6 \cdot (14 - 1) - 5 \cdot 15 = 3,$$

где W – число степеней свободы;

p_5 – число пар пятого класса;

n – число звеньев.

В данном случае $n = 14$, $p_5 = 15$.

Еще одним перспективным механизмом данного подкласса является робот, соответствующий схеме механизма «Rostock-Delta», используемый для 3D-печати. Основным принципом 3D-печати является создание объемного предмета путем наложения слоев используемого материала. Рабочий орган робота – экструдер, имеет плоскопараллельное движение относительно рабочей поверхности, что помогает равномерно и точно наносить материал. Благодаря небольшой массе подвижных элементов, по сравнению с аналогами, увеличивается скорость передвижения рабочего органа, соответственно повышается скорость печати, при этом не теряется точность.

Механизм робота содержит три кинематические цепи, каждая из которых включает в себя поступательные приводы и шарнирные параллелограммы. Поступательные приводы данного механизма можно расположить в любом направлении, но для возможности обработки объектов, создаваемых методом 3D-моделирования, поступательные приводы располагаются вертикально (рис. 3).

Рассмотрим приводной узел одной из кинематических цепей (рис. 4). Привод, расположенный вертикально, выполнен в виде поступательной кинематической пары. К этой кинематической паре присоединена втулка начальной вращательной кинематической пары.

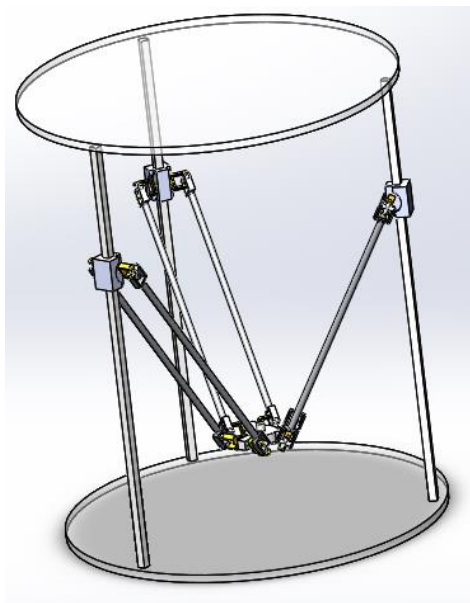


Рис. 3. Механизм с тремя степенями свободы на основе механизма «Rostock-Delta»

Затем располагается плоский шарнирный параллелограмм. Также в кинематической цепи имеется еще одна кинематическая пара с осью, параллельной оси начальной вращательной кинематической пары. В данном случае в каждой цепи механизма имеются поступательная кинематическая пара, две вращательные кинематические пары и один шарнирный параллелограмм.

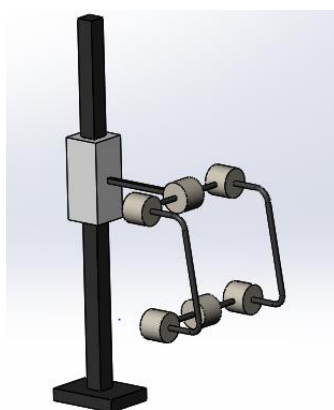


Рис. 4. Приводной узел механизма на основе механизма «Rostock-Delta»

Соответственно, воспользовавшись формулой Сомова-Мальшева, получаем число степеней свободы, равное:

$$W = 6 \cdot (n - 1) - 5 \cdot p_5 - 4 \cdot p_4 = 6 \cdot (8 - 1) - 5 \cdot 3 - 4 \cdot 6 = 3,$$

где p_4 – число пар четвертого класса.

В данном случае $n = 8$, $p_5 = 3$, $p_4 = 6$.

В целом данный механизм имеет три упомянутые кинематические цепи, соединённые через выходное звено. Каждая из поступательных пар закрепляется на соответствующей направляющей и имеет возможность двигаться с разной скоростью, обеспечивая точность перемещения рабочего органа.

Рассмотренные механизмы параллельной структуры осуществляют поступательные движения выходного звена, они предназначены для решения конкретных индивидуальных задач. В первом случае трехосевой механизм обладает свойством «изоморфности», обеспечивает высокую точность позиционирования и применяется преимущественно, когда требуется передвижение по периметру рабочей зоны. Основным преимуществом второго механизма является гораздо более высокое быстродействие за счет минимальной инерции и относительной легкости конструкции. Таким образом, структурный анализ и синтез механизмов параллельной структуры позволяет адаптировать схемы под решение различных задач, а также найти применение в тех отраслях, где они не применялись ранее.

Список литературы

1. Глазунов В.А., Духов А.В., Шептунов С.А. и др. Манипуляционные механизмы параллельной структуры и некоторые их применения в медицине // Качество. Инновации. Образование. - 2016. - Т. 2, № 2. - С. 84–88.
2. Глазунов В.А. Пространственные механизмы параллельной структуры / В.А. Глазунов, А.Ш. Колисков, А.Ф. Крайнев – М.: Наука, 1991. – 95 с.
3. Ганиев Р.Ф., Глазунов В.А. Манипуляционные механизмы параллельной структуры и их приложения в современной технике // ДАН. - 2014. - Т. 459, № 4. - С. 1–4.
4. Siciliano B., Khatib O. Springer Handbook of Robotics. Springer International Publishing, 2016. - 2227 p.
5. В.А. Глазунов. Механизмы параллельной структуры и их применение: робототехнические, технологические, медицинские, обучающие системы. / Отв. ред. академик Р.Ф. Ганиев. — М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. — 1036 с.
6. Clavel R.. Delta, a Fast Robot with Parallel Geometry // Proc. of the 18th International Symposium on Industrial Robots, Sydney, Australia, 1988.
7. Аракелян В., Брио С., Глазунов В.А. Исследование особых положений манипулятора с параллельной структурой ПАМИНСА // Проблемы машиностроения и надёжности машин. — 2006. — № 1. — С. 80–88.
8. Ph. Wenger and D. Chablat, (2002), “Kinematic Analysis of a New Parallel Machine Tool: the Orthoglide”, 7th International Symposium on Advances in Robot Kinematics, Piran-Portoroz, Словения. - С. 305-314.
9. Kong X., Gosselin C. Type Synthesis of Parallel Mechanisms. Springer, 2007. - 275 p.
10. Glazunov V.A., Rashoyan G.V., Aleshin A.K., Shalyukhin K.A., Skvortsov S.A. Structural Synthesis of Spatial *I*-Coordinate Mechanisms wiith Additional Links for Technological Robots. // Advances in Artificial Systems for Medicine and Education II. Ed. Z. Hu, S. Petoukhov, M. He. Springer, 2019. - P. 683-691.
11. Glazunov V.A., Filippov G.S., Lastochkin A.B., Ceccarelli M., Skvortsov S.A., Rashoyan G.V., Aleshin A.K., Shaluhin K.A. 5DOF Mechanism for Vertebral Surgery Kinematic Analysis and Velocity Calculation. // Advances in Mechanism and Machine Science. Proceedings of the 15th IFToMM World Congress on Mechanism and Machine Science. Ed. T. Uhl. Springer, 2019. - P. 1741-1749.
12. Ганиев Р.Ф., Глазунов В.А., Филиппов Г.С. Актуальные проблемы машиноведения и пути их решения. Волновые и аддитивные технологии, станкостроение, роботохирургия. // Проблемы машиностроения и надёжности машин. - 2018. - № 5. - С. 16-25.

Дата поступления: 30 июня 2020 г.