

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы на тему

"Кинематический анализ нового параллельного манипулятора 3-PRRS типа трипод",

представленной на соискание степени доктора философии (PhD)

по специальности **6D060300-Механика**

Кайырова Рустема Айбековича

Актуальность темы исследования. Анализ состояния современной робототехники показывает, что исполнительные механизмы (манипуляторы) большинства современных роботов являются серийными манипуляторами открытого (антропоморфного) типа кинематической цепи. Хотя серийные манипуляторы универсальны, имеют широкую рабочую зону и высокую маневренность, они также имеют ряд недостатков, таких как консольность конструкции, низкая жесткость, низкая грузоподъемность и низкая точность позиционирования.

Альтернативным методом создания кинематических схем роботов является использование параллельного манипулятора с замкнутой кинематической цепью. По сравнению с серийными манипуляторами конструкция параллельного манипулятора жесткая, имеет большую грузоподъемность и точность позиционирования, а также значительное быстродействие. Благодаря этим преимуществам параллельные роботы широко используются в космосе, медицине, симуляторах движения и промышленности.

Цель диссертации: провести кинематический анализ нового параллельного манипулятора 3-PRRS типа трипод с шестью степенями свободы.

Задачи исследования:

1. Создание структурной схемы нового параллельного манипулятора типа трипод и определение степени свободы;
2. Решить прямую и обратную задачу кинематики нового параллельного манипулятора для определения рабочей зоны и для определения движения входных кинематических пар;
3. Определение рабочей зоны;
4. Якобианский анализ, решение прямой и обратной задачи скорости;
5. Определение сингулярных конфигураций нового параллельного манипулятора трипода;
6. 3D моделирование нового параллельного манипулятора для определения его работоспособности.

Методы исследования. Методологической основой исследования является математическое моделирование. Получена новая конструкция параллельного робота типа трипод, основанная на передовых принципах построения механизмов и манипуляторов. Для 3D моделирования манипулятора использовалась программа SolidWorks, все расчеты проводились в Matlab.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования. В настоящее время параллельные роботы используются в симуляторах движения, медицине, космосе, во многих отраслях промышленности (автоматическая сварка, шлифование, резка, управление, погрузка и разгрузка, монтаж трубопроводов, пожаротушение нефтяных скважин, судостроение, мостостроение, обслуживание самолетов, судостроительный транспорт и другие). Рассмотренный в работе параллельный манипулятор 3-PRRS с шестью степенями свободы является новым и может использоваться как симулятор движения или для шлифования или резки.

Научная новизна работы:

1. Упростить синускулярную конфигурацию манипулятора за счет уменьшения количества ног на платформе Гауфа-Стюарта с шести до трех.
2. Увеличение горизонтальной рабочей зоны параллельного манипулятора за счет использования вращающихся кинематических пар вместо поступательных кинематических пар.
3. Расширение рабочей зоны по вертикальной оси Z за счет поступательных кинематических пар, перемещающихся в плоскости неподвижной платформы.

Выводы для защиты:

1. Геометрия и обратная кинематика нового параллельного манипулятора типа 3-PRRS.
2. Прямая кинематика и рабочая зона нового параллельного манипулятора.
3. Сингулярный анализ нового трипода, прямая и обратная кинематическая задача скорости.

Апробация работы: Основные результаты диссертации были представлены, обсуждены и положительно оценены на следующих международных научных конференциях:

- International Conference on Robotics in Alpe-Adria Danube Region, RAAD 2019: Advances in Service and Industrial Robotics, «Geometry and Inverse Kinematics of 3-PRRS Type Parallel Manipulator» 08 May 2019, pp 12-18
- International Conference on Robotics in Alpe-Adria Danube Region, RAAD 2020: Advances in Service and Industrial Robotics, «The First Type of Singularity of a 3-PRRS Parallel Manipulator», 19 June 2020, pp 356-363
- Proceedings of the World Congress on Engineering, WCE 2019, «Parallel Manipulator of a Class RoboMech with Two End-Effectors», July 3-5, 2019, London, U.K.
- 2nd International Joldasbekov Symposium «Future Mechanics», «Geometry and Inverse Kinematics of 3-PRRS Type Parallel Manipulator», 1-5 March, 2021
- 5th IFToMM Symposium on, Mechanism Design for Robotics, MEDER 2021, «Invers Kinematics and Workspace of a 3- PRRS type parallel manipulator», June 23-25, 2021, Futuroscope-Poitiers, France.

- Научные семинары кафедры механики Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан 2018-2020).

Публикации. По содержанию диссертации опубликовано 10 статей, в том числе 6 на международных конференциях (проиндексированы в базе данных Scopus 3, не проиндексированы 2), журналы проиндексированы в базе данных Scopus 2, журналы рекомендованы Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан 3.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения и библиографии.

Во введении анализируется современное состояние проблемы исследования и дается обзор литературы, обосновывается актуальность темы, целей и задач предмета исследования. Представлены результаты исследований, их научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первом разделе диссертации определяется степень свободы параллельного манипулятора, для изучения геометрии и кинематики параллельного робота в каждой кинематической паре были соединены две декартовы системы координат, а не одна декартова система координат, как в известном методе Денавита-Хартенберга. Каждая декартова система координат строго связана с каждым элементом кинематической пары. Тогда матрица преобразования выбранной системы координат будет иметь шесть параметров вместо четырех, как в матрице Денавита-Хартенберга. Действительно, положение твердого тела в пространстве определяется шестью независимыми параметрами. Эти шесть параметров были использованы для определения матриц бинарных звеньев, и кинематических пар, абсолютной и локальной системы координат нового параллельного манипулятора 3-PRRS типа трипод.

При решении прямой задачи кинематики задаются значения входных параметров, и в соответствии с этими параметрами определяется положение и ориентация подвижной платформы. В нашем случае заданы два входных параметра s_i , $\theta_{2,i}$ для каждой опоры из условия постоянства расстояний между сферическими шарнирными соединениями была составлена система трех уравнений, состоящая из трех переменных $\theta_{3,i}$ ($i = 1, 2, 3$). Эта система уравнений сводится к полиному 16-й степени, который зависит от одной переменной. Таким образом, были определены различные положения мобильной платформы параллельного манипулятора в зависимости от значений входных параметров.

При решении обратной задачи кинематики положение мобильной платформы, то есть положение, и ориентация локальной системы $PX_P Y_P Z_P$ относительно базовой системы координат задаются в виде матрицы 4x4. С другой стороны, координаты сферических шарниров определяются как функции, зависящие от постоянных и переменных параметров для каждой опоры параллельного манипулятора. В нашем случае для одной ног создается система уравнений, состоящая из трех уравнений и трех неизвестных.

Неизвестными считались два входных параметра: параметр поступательного движения гидроцилиндров s_i , параметры вращательного движения двигателей $\theta_{2,i}$ и углы поворота пассивных узлов $\theta_{3,i}$ ($i = 1,2,3$). Однако, поскольку первые два из трех уравнений линейно зависят друг от друга, были свободно заданы входные параметры s_i , а параметры $\theta_{2,i}$ и $\theta_{3,i}$ определяются из двух уравнений в зависимости от двух переменных.

Во второй главе диссертации исследуется рабочее пространство параллельного манипулятора. При определении рабочего пространства были определены плоскости движения ног параллельного манипулятора, доказано, что траектория мобильной платформы представляет собой дугу окружности, принадлежащую сфере. Рабочее пространство определялось по прямой и обратной задаче кинематики. Согласно обратной кинематике, координаты центра мобильной платформы манипулятора устанавливаются из объема прямоугольной призмы в пространстве, и программа определяет, проверяя, соответствуют ли эти точки рабочему пространству манипулятора. При определении рабочей зоны по прямой задаче кинематики задаются входные параметры поступательных кинематических пар s_i , и определяется центр подвижной платформы, когда входные параметры вращательных кинематических пар $\theta_{2,i}$ изменяются по трем циклам. Таким образом, методом численного подбора была определена рабочая зона параллельного манипулятора.

При зафиксированных поступательных кинематических парах параллельного манипулятора типа трипод, то есть если штоки гидроцилиндров закреплены на равных расстояниях от центра $s_1 = s_2 = s_3 = s$, то известно, что манипулятор становится полностью параллельным манипулятором с тремя степенями свободы, при этом с учетом зависимости между параметрами определяющими положение X_p, Y_p, Z_p и ориентацию ψ, θ, φ центра подвижной платформы в пространстве, была определена рабочая зона параллельного манипулятора.

В третьей главе диссертации приведено построение матриц Якоби из уравнений замыкания векторных контуров параллельного манипулятора путем добавления дополнительных уравнений в матрицу Якоби с учетом ограничения вращательных кинематических пар, были решены прямая и обратная кинематические задачи скорости параллельного манипулятора, выполнено сравнение и проверка правильности решения.

В третьей главе рассматриваются сингулярные конфигурации параллельного робота, поскольку в сингулярных конфигурациях робот теряет степень свободы или получает дополнительную степень свободы, поэтому в этих случаях параллельный робот не управляется. Сингулярные конфигурации параллельного робота были определены на основе анализа матриц Якоби J_x и J_q , которые устанавливают связь между мобильной платформой и скоростями

двигателей. В зависимости от особенности каждого из якобианов J_x и J_q или обоих, были определены три типа особых конфигураций параллельного робота. Также известно, что J_x связан с прямой кинематикой, а J_q связан с обратной кинематикой. Для решения прямой и обратной задачи скорости, были использованы дополнительные уравнения ограничения вращательных кинематических пар. При решении прямой задачи скорости были определены шесть параметров мгновенных скоростей подвижной платформы в зависимости от заданных шести параметров скоростей обобщенных координат. При решении обратной задачи скорости были определены параметры скоростей шести приводов, при заданных параметрах скоростей подвижной платформы. При сравнении результатов прямой и обратной задачи скорости, в положениях когда манипулятор находится вне зоны сингулярных конфигураций, относительная погрешность результатов не превышает 5 %. Также была определена рабочая зона, когда манипулятор работает без сингулярных конфигураций. Для этого была составлена программа которая определяет те положения когда матрица J_x вырожденная.