

П.М. Рахметова¹, А.Б. Базарбек²

¹Satbayev University, г. Алматы, Казахстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

E-mail: p.rakhmetova@satbayev.university

АНАЛИЗ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ

Аннотация. На данный момент отрасль промышленных роботов охватывает большую часть в области технологий и наиболее успешно применяется в машинной обработке, в моделирование движения, в захвате и перемещении объектов исследования. В свою очередь к распространенным промышленным роботам относятся в основном последовательные роботы, параллельные роботы и последовательно-параллельные гибридные роботы. В данной статье проводится анализ параллельных роботов манипуляторов с элементами искусственного интеллекта по существующим исследованиям ученых. Приводится сравнительный анализ параллельных роботов-манипуляторов с разными конфигурациями.

Ключевые слова. Параллельный робот-манипулятор, искусственный интеллект, машинная обработка, моделирование движения.

Введение.

За последние несколько лет искусственный интеллект проник во многие аспекты жизни, такие как моделирование и оптимизация [1]. Современные методы искусственного интеллекта (ИИ) находят широкое применение для создания автоматизированных робототехнических систем управления сложными объектами. Существует два важных подхода в теории искусственного интеллекта, используемых для моделирования, таких как нечеткие модели и нейронные сети. Нечеткие модели и нейронные сети требуют гипотезы, содержащей карты принадлежности и активации для их приемлемой работы. Методы нечеткой модели, теории нечетких множеств и отношений в настоящее время широко применяются при моделировании систем управления и распознавания, то есть там, где необходимо оценивать ситуацию и принимать решение в условиях неточной информации или при наличии нечетких целей и ограничений [7]. Примерами использования методов искусственного интеллекта является в задачах сложных параллельных манипуляторов, которые имеют ограниченные полезные области рабочего пространства, плохую мобильность и трудности проектирования. Путем решений, основанных на фундаментальных положениях теории систем искусственного интеллекта, позывает значительное улучшение эффективности и производительности манипуляторов за счет использования гибридных и сетевых элементов с простыми методами обучения и настройки.

Материалы и методы.

В настоящее время разработка алгоритмов управления роботами-манипуляторами с использованием параллельных кинематических схем является актуальной проблемой в задачах динамического манипулирования, т.е. без использования захватного устройства. Параллельные механизмы применяются в различных областях из-за ряда преимуществ по сравнению с манипуляторами с последовательной схемой [2]. Преимуществами является замкнутая кинематическая схема, малая инерция, надежность и высокая точность

позиционирования всего механизма. Параллельно подвижные части снижают нагрузку на привод, тем самым улучшают динамику и точность системы. В статье описывается несколько параллельных механизмов с различным количеством и типами степеней свободы, которые могут быть использованы в параллельных кинематических машинах, тренажерах движения и промышленных роботах.

Результаты.

В ходе исследований проанализированы существующие решения в данной области. Механические системы, которые позволяют твердому телу двигаться относительно неподвижного основания, играют очень важную роль во многих приложениях [3]. Твердое тело может двигаться в различных поступательных или вращательных направлениях, которые называются степенями свободы (DoF). Общее число степеней свободы твердого тела не может превышать шести, например, трехпоступательные движения вдоль взаимно ортогональных осей и трехвращательные движения вокруг этих осей. Робот включает в себя систему управления несколькими степенями свободы рабочего органа. В последние несколько лет произошли важные изменения в использовании промышленных роботов, главным образом благодаря их гибкости. Однако механическая архитектура наиболее распространенных роботов плохо адаптирована к определенным задачам. Поэтому недавно были разработаны другие типы архитектур для промышленного использования, включая параллельные манипуляторы.

В статье [3] рассмотрена модель двухзвенного манипулятора, построенная на основе гибридной нейронной сети для решения инверсной кинематической задачи обеспечения движения рабочего элемента по заданной траектории. Двухзвенные манипуляторы широко используются в перегрузочном оборудовании, которым оснащены современные порты и транспортные терминалы. Приведены уравнения динамики модели двухзвенного манипулятора, позволяющие выполнять оценки допустимых нагрузок элементов конструкции и обеспечивать безаварийные режимы функционирования манипулятора.

В работе Zhang и др. [4] особое внимание уделяется к гибридным манипуляторам с последовательно-параллельной структурой. Данный вид манипулятора отличаются преимуществами более высокого отношения жесткости к весу и более высокой грузоподъемности, а также имеют значительные перспективы применения в промышленности. Основным компонентом и предметом исследований гибридного манипулятора является его параллельный механизм (ПМ). В качестве исследования представлены два промышленных робота, один с возможностью переноски и захвата, а другой с возможностью обработки сложной пространственной поверхности.

Параллельный манипулятор, представляющий собой механизм замкнутого цикла, обычно состоит из подвижной платформы, соединенной с неподвижным основанием несколькими конечностями или ногами [3]. Как правило, количество конечностей равно количеству степеней свободы.

Таким образом, каждая конечность управляется одним приводом, и все приводы могут быть установлены на неподвижном основании или рядом с ним. По этой причине параллельные манипуляторы иногда называют платформенными манипуляторами.

Поскольку внешняя нагрузка может распределяться между исполнительными механизмами, параллельные манипуляторы, как правило, имеют большую грузоподъемность. Параллельные манипуляторы всегда представляются как обладающие очень хорошими характеристиками с точки зрения точности, жесткости и способности манипулировать большими нагрузками.

Добриборщ и Колюбин в своих работах разработали робототехническую платформу Стюарта с двумя степенями свободы с использованием технического зрения.

Также в работе представлены функциональные и кинематические схемы разработанного робототехнического комплекса, который состоит из платформы прямоугольной формы, регулируемый двумя сервоприводами, установленными на основании. Разработано математическое моделирование адаптивного управления по стабилизации объекта в заданных координатах с применением ряд допущений: не учитываются силы трения и скольжения, объект однороден и вместе с поверхностью платформы всегда находятся в контакте. На основе разработанного робототехнического комплекса проведена экспериментальная апробация адаптивного управления робота-манипулятора параллельной кинематики, предназначенного для решения задач динамического манипулирования объектом, в частности в задачах захвата и перемещения объекта.

Параллельные механизмы могут двигаться в разных направлениях одновременно, что может устранить вибрацию с несколькими степенями свободы. Классический параллельный механизм и механизм Стюарта обладает такими характеристиками, как большая жесткость, высокая грузоподъемность, небольшое рабочее пространство и высокая точность управления [1]. В последние десятилетия было предложено множество методов поглощения вибраций, основанных на механизме Стюарта. Хотя и платформа Стюарта обладает уникальными преимуществами по сравнению с традиционными конструкциями для контроля вибрации, кинематический и динамический анализ платформы Стюарта сложен. Основная проблема с общей платформой Стюарта заключается в том, что движения по разным осям сильно связаны, что означает, что движение в любом декартовом направлении вызывает движение каждой ответвленной ножки платформы сиденья, что приводит к математической сложности проектирования системы управления. Чтобы решить эту проблему, платформа Стюарта специальной конфигурации, называемая кубической платформой Стюарта, была впервые предложена Генгом и др. в качестве архитектуры шестиосевой системы изоляции. Структура этой конфигурации показана на рисунке 1. На этом рисунке показан принцип построения конфигурации куба. На основе куба две диагонали удаляются плоскостью ABC и плоскостью DEF. Две плоскости после удаления называются нагрузочной плоскостью и основанием кубической платформы Стюарта, а шесть длин сторон куба, AF, AE, BF, BD, CE и CD, становятся шестью опорами кубической платформы Стюарта.

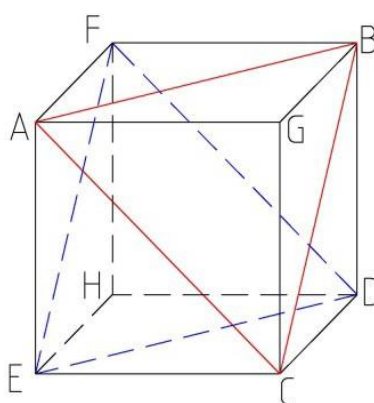


Рисунок 1 – Кубическая платформа Стюарта [1]

В статье [3] анализируется определение параллельного манипулятора и степеней свободы механизма. Обсуждаются три типа новых параллельных манипуляторов: пространственный параллельный манипулятор с тремя степенями свободы, параллельный манипулятор с двумя степенями свободы и планарный последовательно-параллельный манипулятор с тремя степенями свободы. Две из этих конструкций применяются в новых промышленных машинах.

Новая трансляционная платформа с двумя степенями свободы показано на рисунке 2. Движение платформы достигается за счет движений звеньев 3 и 8, передаваемых на платформу двумя параллелограммами. Подвижная платформа имеет две чисто поступательные степени свободы относительно основания из-за плоских четырехстержневых параллелограммов. Система имеет чрезмерные ограничения, поскольку для получения двух степеней свободы твердого тела в этой конструкции требуется только один плоский параллелограмм с четырьмя стержнями. Два плоских параллелограмма с четырьмя стержнями используются для увеличения жесткости системы и придания ей симметричности.

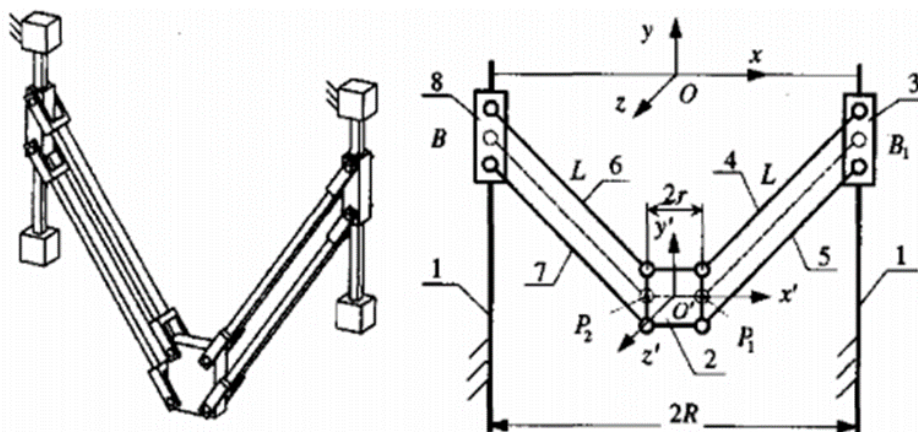


Рисунок 2 – Трансляционная платформа с двумя степенями свободы [3]

Планарный последовательно-параллельный механизм с тремя степенями свободы как показано на рисунке 3, имеет подвижную платформу, соединенную с основанием двумя ножками. Первая ветвь состоит из постоянного звена, соединенного с вращающимся соединением на нижнем конце и пассивным вращающимся соединением на другом конце. Вращающееся соединение затем прикрепляется к основанию через призматическое соединение. Вторая нога сильно отличается от первой переменным четырехугольником, полученным за счет сгибания одной стороны для изменения ориентации движущейся платформы. Четыре стороны четырехугольника связаны друг с другом вращательными соединениями. Четырехугольник соединен с основанием призматическим шарниром.

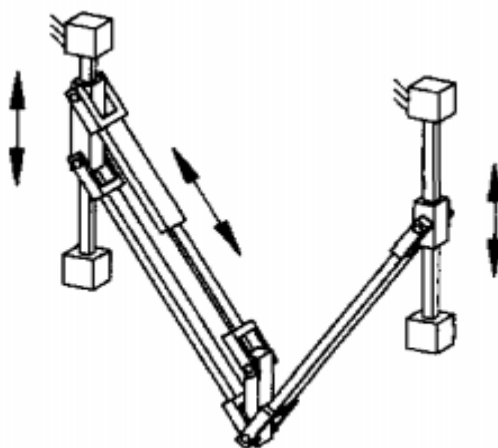


Рисунок 3 – Планарный последовательно-параллельный механизм с тремя степенями свободы [3]

В статье [5] предлагается системное динамическое моделирование и анализ параллельного робота 2PRU-UPR с двумя вращениями и одним поступательным движением на основе теории винтов, где P, R и U обозначают призматические, вращательные и универсальные шарниры соответственно. По сравнению с существующими параллельными роботами, имеющими два вращения и одно перемещение, два приводных призматических шарнира параллельного робота 2PRU-UPR установлены на неподвижном основании для уменьшения подвижной массы и улучшения динамического отклика. Для оценки динамических поступательных и вращательных характеристик параллельного робота 2PRU-UPR путем распределения индекса (матрица Якоби) используются метод эллипсоида динамической манипулируемости. Игнорируя влияние скорости и силы тяжести на приводимые в действие силы, этот метод развивает картографическую зависимость между ускорением движущейся платформы и приводимыми в действие силами, по которой можно оценить динамические характеристики параллельного робота 2PRU-UPR. Предложенный метод моделирования был проверен в численном моделировании по сравнению с динамическим моделированием с использованием программного обеспечения ADAMS. Динамическая модель параллельного робота 2PRU-UPR записывается как

$$H^T M_I H \ddot{q} + H^T C(q, \dot{q}) = H^T F^a, \quad (1) [5]$$

где,

$H = [J_R J_T]^T$ - матрица, содержащая матрицу вращения и матрицу перемещения соответствующих частей параллельного робота;

$M_I = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & m \end{bmatrix}$ - матрица инерция массы;

F^a - внешние силы или крутящие моменты, приложенные к параллельному механизму.

Силы и крутящие моменты в динамической модели параллельного робота означают силы тяжести всех тел, движущие силы призматических шарниров, нагрузки, приложенные к качающейся платформе, и связанные с ними крутящие моменты.

На основе динамического анализа изготовлен прототип как показано на рисунке 4, применимый для обработки криволинейных поверхностей.



Рисунок 4 – прототип параллельного механизма с тремя степенями свободы [5]

Обсуждение.

Обзор на вышеупомянутой работе [2] показывает, что данный подход неприменим при больших массогабаритных параметрах объекта. Для расширения области применения роботов-манипуляторов в промышленном мире целесообразно использовать задачи динамического манипулирования приемами такие, как наклоны, удар, бросок, толкание и т.д.

Для математического анализа ограничений и движения пространственных параллельных механизмов (ПМ) [4]. широко используется метод обратных производений, основанный на теории винтов, которые содержат информацию о положении и ориентации. Теория способствует синтезу ПМ, который осуществляется на основе последовательного и вращательного движения крутящего винта, а также сила и крутящего момента. В данной работе проанализированы отношения между ограничением и движением твердого тела, а также отношения между ограничением конечностей и осями суставов конечностей.

В статье [6] предложена новая платформа для снижения вибраций с несколькими степенями свободы, основанная на кубическом механизме Стюарта. Разработана виртуальная модель платформы снижения вибрации сиденья и построена экспериментальная модель прототипа. На основе методов теоретического моделирования, численного моделирования и эксперимента исследованы как пассивные, так и активные подвески сидений автомобиля на основе кубического параллельного механизма Стюарта. Сделаны следующие выводы:

В исследовании разрабатывается новая структура платформы снижения вибрации системы сидений на основе кубического параллельного механизма Стюарта, который упрощает динамическую модель платформы сиденья и облегчает реализацию активного контроля вибрации системы сидений.

Коэффициент передачи вибрации платформы системы сидения очень чувствителен к изменению коэффициентов демпфирования ответвления платформы системы сидения в резонансной области. Коэффициент передачи вибрации чувствителен к массе нагрузки на подшипник и жесткости ответвления платформы системы сидения в области подавления вибрации.

Предложен метод гашения вибрации, сочетающий активный и пассивный контроль вибрации для снижения осевой вибрации каждой ответвленной опоры кубической платформы системы сиденья с механизмом Стюарта. Результаты анализа показывают, что в состоянии пассивного управления платформа системы сидения может эффективно гасить вибрации в трех направлениях: вертикальном, горизонтальном и крене. После применения метода активного контроля вибрации эффект снижения вибрации во всех трех направлениях может быть дополнительно увеличен.

Таким образом [7], нейронная модель двухзвенного манипулятора позволяет при должном научном обосновании с требуемой для практики точностью построить траекторию движения объекта, определить скорости и ускорения всех элементов манипулятора в любой точке траектории.

Применение модели, обеспечивающей высокую точность аппроксимации траекторных процессов в нелинейной динамической системе (манипуляторе), дает возможность повысить безопасность работы портового перегрузочного оборудования за счет ограничений моментов и сил, возникающих в механизмах приводов звеньев в случаях повышения быстродействия манипулятора

По заключению анализа можно сказать что перспективным направлением исследования является решение задач траекторного движения, планирования траектории и идентификация модели контакта между объектом и поверхностью платформы

Основной вклад всех статьи заключается в процессах вывода из конфигураций роботов, полученных методом синтеза типов, в структуры роботов с определенным требуемым движением. Теоретические приложения от метода синтеза типов до гибридных манипуляторов более полезны для получения новых промышленных роботов с характеристиками простых структур и высокой степенью модульности [4].

Заключение.

В данной статье проведен сравнительный анализ существующих параллельных манипуляторов с разными конфигурациями и степенями свободы. Теоретической и практической значимостью исследования заключается в том, что данная обзорная статья будет основой для дальнейшей разработки параллельного манипулятора с элементами искусственного интеллекта и развития теоретической базы в данном направлении.

ЛИТЕРАТУРА

[1] G. Aquino et al., "Novel Nonlinear Hypothesis for the Delta Parallel Robot Modeling," in IEEE Access, vol. 8, pp. 46324-46334, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2979141.

[2] Dobriborsch D., Kolyubin S. A. Adaptive control of parallel kinematics robot manipulator. Journal of Instrument Engineering. 2017. Vol. 60, N 9. P. 850—857 (in Russian)

[3] X. Liu, J. Wang, T. Li and G. Duan, "Parallel mechanisms with two or three degrees of freedom," in Tsinghua Science and Technology, vol. 8, no. 1, pp. 105-112, Feb. 2003.

[4] D. Zhang, Y. Zheng, L. Wei, J. Wu, Y. Xu and Y. Zhao, "Type Synthesis of 2T1R Planar Parallel Mechanisms and Their Moduling Development Applications," in IEEE Access, vol. 9, pp. 72217-72227, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3079266.

[5] X. Chai, M. Wang, L. Xu and W. Ye, "Dynamic Modeling and Analysis of a 2PRU-UPR Parallel Robot Based on Screw Theory," in IEEE Access, vol. 8, pp. 78868-78878, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2989783.

[6] F. Bi, T. Ma, X. Wang, X. Yang and Z. Lv, "Research on Vibration Control of Seating System Platform Based on the Cubic Stewart Parallel Mechanism," in IEEE Access, vol. 7, pp. 155637-155649, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2948785.

[7] А. А. Вардомская. «Гибридная нейронная модель двухзвенного манипулятора как звена портового перегрузочного оборудования», Вестник Государственного Университета Морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, выпуск 2 (38), 2016г.

REFERENCES*

[7] A. A. Vardomskaia. «Gibridnaja nejronnaja model' dvuhzvennogo manipulyatora kak звена portovogo peregruzochnogo oborudovanija», Vestnik Gosudarstvennogo Universiteta Morskogo i rechnogo flota imena admirala S.O. Makarova, vypusk 2 (38), 2016g.

Перизат Рахметова, докторант, аға оқытушысы, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, p.rakhmetova@gmail.com

Асыл-Дастан Базарбек, PhD, аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, asyl.bazarbek.92@mail.ru

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТИ БАР ПАРАЛЛЕЛЬДІ МОНПУЛЯТОРЛАРДЫ ТАЛДАУ

Аңдатпа. Қазіргі уақытта өнеркәсіптік роботтар технология саласындағы үлкен бөлікті қамтиды және машиналық өңдеуде, қозғалысты модельдеуде, зерттеу объектілерін түсіруде және жылжытуда сәтті қолданылады. Өз кезегінде қарапайым өнеркәсіптік роботтарға негізінен сериялық роботтар, параллель роботтар және сериялы параллель гибридті роботтар жатады. Бұл мақалада ғалымдардың бар зерттеулері негізінде жасанды интеллект элементтері бар параллельді роботтық манипуляторлар талданады. Өртүрлі конфигурациялы параллельді роботтық манипуляторлардың салыстырмалы талдауы ұсынылады.

Түйінді сөздер. Параллельді робот манипуляторы, жасанды интеллект, машинаны өңдеу, қозғалысты модельдеу.

Perizat Rakhmetova, doctoral student, senior lecturer, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, p.rakhmetova@gmail.com

Assyl-Dastan Bazarbek, PhD, senior lecturer, Eurasian National University after L. N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, asyl.bazarbek.92@mail.ru

ANALYSIS OF PARALLEL MANIPULATORS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract. At the moment, the industry of industrial robots covers a large part in the field of technology and is most successfully used in machine processing, in motion simulation, in capturing and moving research objects. In turn, common industrial robots include mainly serial robots, parallel robots and series-parallel hybrid robots. This article analyzes parallel robotic manipulators with elements of artificial intelligence based on existing research by scientists. A comparative analysis of parallel robotic manipulators with different configurations is given.

Keywords. Parallel robot-manipulator, artificial intelligence, machine processing, motion simulation.
