

Концептуальная модель автоматизированного синтеза многосекционных манипуляторов, основанных на параллельных структурах

© В.Н. Пашенко

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, 105005

Рассмотрена проблема автоматизации синтеза многосекционных манипуляционных механизмов, основанных на параллельных структурах. Проведен обзор существующих механизмов, описана структура синтеза многосекционных манипуляторов. Предложены методы и средства решения проблемы.

Ключевые слова: механизмы параллельной структуры, система поддержки принятия решений, синтез механизмов, методы автоматизированного проектирования, структурная модель, структурный синтез, параметрический синтез, синтез системы управления.

Введение. В настоящее время роботов, классифицируемых по назначению, характерным признакам принципиального, схемного и конструктивного решений, чрезвычайно много, что лишь отчасти отражено в литературе. В большинстве случаев манипуляторы роботов имеют незамкнутые кинематические цепи, т.е. снабжены механизмами последовательной структуры (традиционный механизм).

Манипуляторы параллельной структуры имеют преимущества по сравнению с традиционными механизмами роботов. В механизмах параллельной структуры выходное звено связано с основанием несколькими кинематическими цепями. Общее число степеней свободы равно сумме степеней свободы кинематических цепей механизма. Эти механизмы воспринимают нагрузку подобно пространственным фермам, в связи с чем отличаются от механизмов с последовательной структурой повышенными показателями точности и грузоподъемности. Такие механизмы применяются достаточно давно. Одним из первых механизмов этого класса является платформа Стюарта (рис. 1), манипулятор Данилевского и др.[1].

Перечисленные механизмы имеют шесть степеней свободы и шесть кинематических цепей, соединяющих выходное звено и основание, причем в каждой цепи расположены две сферические пары с двумя и тремя степенями свободы и одна поступательная пара, снабженная приводом.

В общем случае число соединений цепей и число степеней свободы может отличаться от шести; число, вид, порядок расположения кинематических пар также могут быть различными. Таким образом, меха-

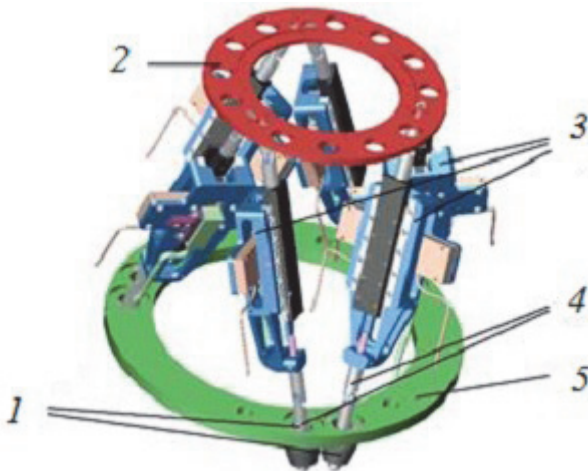


Рис.1. 3D-модель платформы Стюарта:

1 – сферические шарниры; 2, 5 – верхняя и нижняя платформы; 3, 4 – верхние и нижние части штанг

низмы параллельной кинематики образуют обширный класс манипуляционных механизмов.

Механизмы параллельной структуры (механизмы с параллельными кинематическими цепями) обладают рядом важных достоинств: высокая жесткость, точность, надежность, компактность. Известны примеры удачных конструкций станков, стендов и другого оборудования различного назначения, построенных на механизмах параллельной структуры.

Двигатели работающих модулей могут быть расположены ближе к основанию, в результате чего испытывают относительно меньшее влияние при движениях механизма. Кроме того, один из модулей может обеспечить коррекцию некоторых перемещений другого модуля[2].

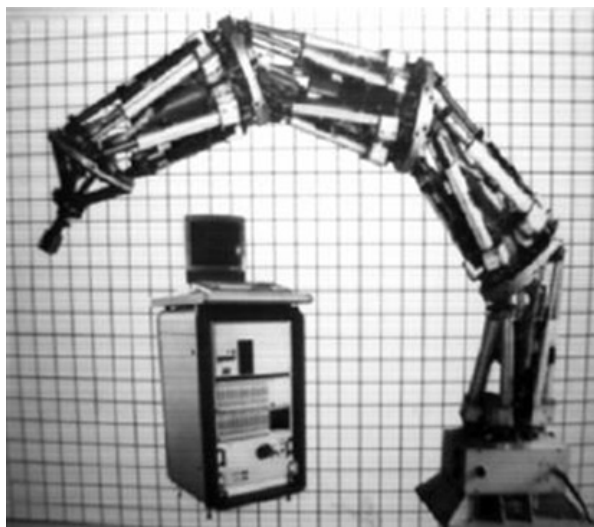
Перечисленные достоинства позволяют использовать такие механизмы для обслуживания технологического оборудования, самостоятельного выполнения некоторых технологических операций (сварки, окраски и т. п.), работы в экстремальных условиях (под водой, в космосе, в условиях сильной радиации или высокой химической концентрации вредных веществ). Однако они редко применяются в робототехнике. Это связано со сложностью управления манипуляторами, ограниченным объемом рабочего пространства, недостаточной проработанностью методик, с помощью которых можно было бы получить как оптимальные варианты конструкций, так и наиболее подходящие для выбранной конструкции алгоритмы автоматического или автоматизированного управления приводами[3].

Кроме односекционных манипуляторов с механизмами параллельной структуры, разрабатываются и многосекционные манипуляторы. Следует отметить, что такие манипуляторы менее исследованы, что объясняется высокой сложностью и в общем случае неоднозначностью аналити-

ческого решения. Существует немного научных работ, в которых предложены решения лишь отдельных задач исследования многосекционных манипуляторов с механизмами параллельной структуры [1]. Рассмотрим наиболее удачные примеры реализации указанных манипуляторов.

1. Манипуляционный робот LX-4 (рис. 2, а), разработанный компанией Logabex совместно с университетом Торонто (Канада), состоит из четырехдентичных механизмов параллельной кинематики типа «гексапод» и выпускается серийно.

2. Робот-манипулятор OCTARM (рис. 2, б), манипулятор которого чаще всего имеет структуру, подобную человеческой руке, т. е. состоит из последовательности жестких звеньев и обладает относительно небольшим (шесть или менее) числом степеней свободы. Таким образом, традиционные манипуляторы робота представляют собой «позвоночные» структуры. Однако роботы, как и люди, сталкиваются с трудностями, работая в чрезвычайно «перегруженной» окружающей среде или при взаимодействии с объектами теми частями конструкции, которые изначально для этого не предназначены. Эти проблемы эффективно решены в природных структурах за счет очень удачных мускульных структур, которые проявляют значительную согласованность и адаптируемость (хобот слона, щупальца осьминога и пр.). Было много попыток создания таких роботизированных мускульных структур. Лишь некоторые попытки, непосредственно вдохновленные биологией, закончились созданием опытных образцов, которые не были использованы вне лаборатории. Причины этого различны, но главная – это проблемы, связанные с координацией, контролем (трудность в оординации многих входных сигналов для выполнения требуемых задач) и сопоз-



а



б

Рис.2. Манипуляционный робот LX-4 (а), робот-манипулятор OCTARM (б)

наванием (трудность в восприятии интерпретации окружающей среды и ее взаимодействий с роботом). «Щупальца» робота-манипулятора Octarm обвиваются вокруг объекта. В движение их приводят воздушные мускулы McKibben. Кроме датчиков давления на поверхности «щупальца» расположены датчики для пространственной ориентации, а также видеокамера, установленная на кончике «щупальца». Тестовые испытания рабочего прототипа показали, что робот-манипулятор OCTARM может передвигать предметы «неправильной» формы, поднимать хрупкие объекты, а также исследовать трубы [4].

Методы решения. Синтез многосекционных манипуляционных механизмов параллельной структуры требует решения комплекса плохо формализованных задач: определение числа секций, типа секционных механизмов параллельной структуры, геометрических параметров секций, траекторий движения, вариантов шарниров и линейных приводов, класса систем автоматического управления секциями и манипулятором в целом, исследование кинематики и динамики и т. д.

Автоматизация решения этих Задач позволит обеспечить повышение скорости решения, снизить стоимость решения, а также уменьшить трудоемкость.

Методы автоматизированного проектирования представляют собой эффективное средство экспериментального моделирования и исследования сложных технических конструкций на основе механически подобного 3D-прототипа изделия. Механически подобный 3D-прототип изделия – это параметризованная геометрическая модель, включающая в себя математическое описание «поведения» и исследования конструкции, позволяющая заменить изучение натурального объекта исследованием характеристик механически подобной модели с возможностью последующего перехода от параметров модели к соответствующим параметрам конструкции.

Современные CAD-системы имеют открытую среду программирования. Это дает возможность создавать единую автоматизированную среду синтеза манипуляционных механизмов, формировать 3D-прототип изделия с учетом геометрических ограничений, получать различные конструкции, удовлетворяющие требованиям и ограничениям среды, а также в интерактивном режиме использовать в единой среде разработки такие эффективные средства математического блочного моделирования, как Matlab Simulink (MathWorks, Inc) и т.д.

В общем случае применение современных CAD-систем, способных обеспечить единую поддержку всего цикла разработки, позволит получить реальный облик изделия, проверить собираемость конструкции за счет полной детализации компонентов изделия, моделировать среду функционирования механизма. Поскольку CAD-системы имеют встроенную систему программирования приложений, с их помощью можно создавать любые типоразмеры манипулятора, получать совершенно разные

конструкторские решения на базе параметризованных компонентов, разрабатывать имитационные модели, что позволяет исследовать геометрию движения конструкции в целях определения и уточнения параметров геометрии, а результаты использовать для оптимизации конструкции. Современные CAD-системы обладают механизмами интеграции с системами математического моделирования и т. д. Подобные механизмы позволяют установить связь между сборочной моделью, построенной в CAD-системе SolidWorks и обладающей массогабаритными характеристиками (SW-модель), и имитационной моделью, сформированной в системе имитационного моделирования Simulink и пригодной для проведения кинематического и динамического анализов (SimMechanics-модель), путем передачи данных в виде STL-файла с возможностью визуализации результатов кинематического и динамического анализов проектируемой конструкции. На основе созданной блочной модели и 3D-прототипа CAD-системы могут симулировать работу системы управления и т. д.

Структурная модель. Предложено комплексное решение автоматизации синтеза манипуляционных механизмов параллельной структуры на основе автоматизированной системы поддержки принятия решения (АСППР). Такая система представляет собой автоматизированный процесс решения самостоятельных, но в то же время взаимосвязанных задач – структурного синтеза, параметрического синтеза, синтеза системы управления, затем на их основе формируется проектное решение с учетом требований, ограничений и экспертной оценки лица, принимающего решение (ЛПР) (рис. 3).

Цель структурного синтеза – автоматизированное определение структуры объекта, перечня типовых элементов, входящих в объект, способа связи элементов между собой в составе объекта; определение траектории или области траекторий движения, в зависимости от задачи – достижение определенной точки или области точек с учетом или без учета ограничения на движения и т.д.; кинематическое исследование, включая решение прямой и обратной задачи, и пр.

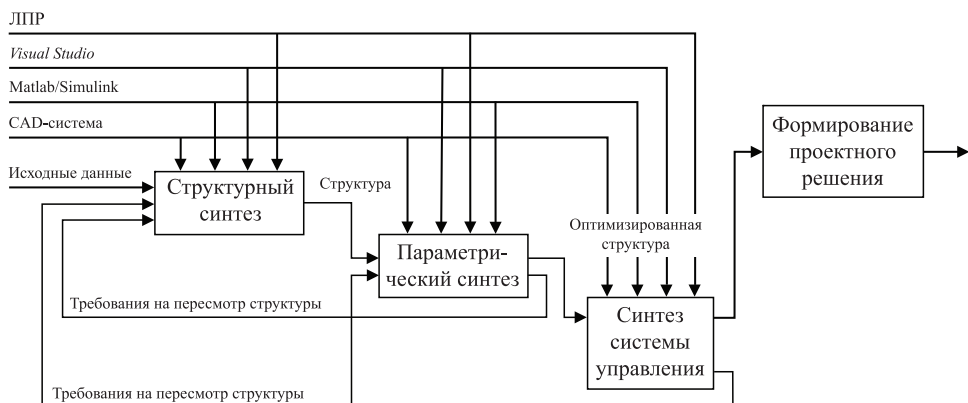


Рис. 3. Структурная модель

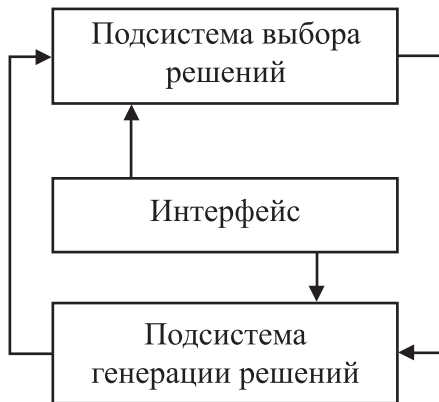


Рис. 4. Обобщенная структура системы поддержки принятия решений

Цель параметрического синтеза – автоматизированное нахождение числовых значений параметров элементов конструкции при заданных структуре и условиях работоспособности на выходные параметры объекта; динамические исследования, определяющие оптимальность с позиции существующих конкретных условий и требований к габаритам, массе, простоте, надежности решения и т.п.

Цель синтеза системы управления – направленный автоматизированный расчет для отыскания рациональной структуры системы управления и установления оптимальных значений параметров ее отдельных звеньев.

Структура системы. В самом общем виде автоматизированная система синтеза включает в себя подсистему генерации решений и подсистему выбора решений (рис. 4).

Необходимость такой структуры обусловлена тем, что задача автоматизации настолько сложна, что требуется включать в работу ЛППР и организовывать подсистему выбора решений на основе экспертной оценки ЛППР.

Предлагаемая схема автоматизированной системы синтеза манипуляционных механизмов параллельной структуры приведена на рис. 5.

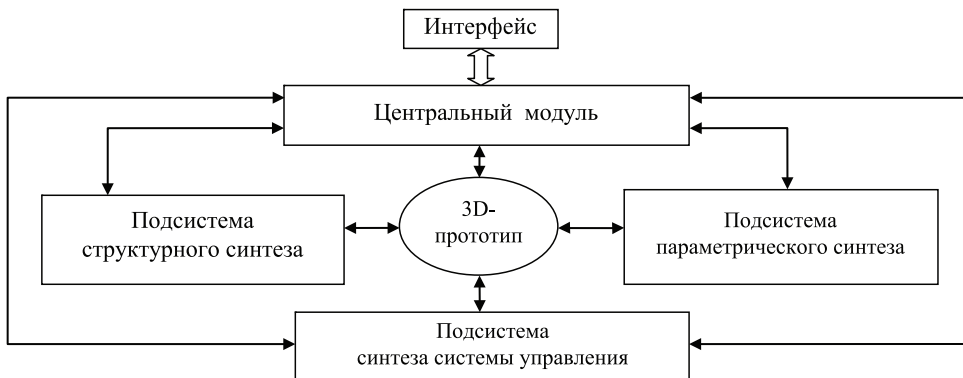


Рис. 5. Схема автоматизированной системы синтеза манипуляционных механизмов параллельной структуры

Выводы. Решение задачи синтеза гибких, обладающих высокой жесткостью, точностью, надежностью, а также компактностью многосекционных манипуляционных механизмов параллельной структуры является весьма актуальной как с научной, так и практической точек зрения. Вместе с тем решить эту задачу достаточно трудно, что связано со сложностью управления данными манипуляторами, большим числом вариантов возможных решений, слабой проработанностью. В настоящее время не существует четко сформулированной теории, которая позволяла бы эффективно синтезировать схемы механизмов параллельной структуры для тех или иных целей, поскольку только построив полную математическую модель такого механизма, можно получить необходимую информацию. Чтобы выбрать из огромного множества вариантов наиболее эффективный для решения поставленной задачи, возникает необходимость разрабатывать математическую модель для большого числа схем, что не всегда возможно.

Одно из решений – разработка автоматизированной системы синтеза указанных механизмов, позволяющей комплексно решить поставленную задачу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Волкоморов С.В., Каганов Ю.Т. Карпенко А.П. Моделирование и оптимизация некоторых параллельных механизмов. *Информационные технологии. Приложение*, 2010, №5, с. 1–32.
- [2] Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Модель Б.И., Чернов В.Ф. Определение положений выходного звена координатных механизмов. *Машиноведение*, 1989, № 3, с. 49–53.
- [3] Working Accuracy of Parallel Kinematics. *Chemnitz Parallel Kinematics Seminar*, 12, 13 April, 2000.
- [4] Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф., Модель Б.И. Принципы классификации и методы анализа пространственных механизмов с параллельной структурой. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 1990, № 1, с. 41–49.

Статья поступила в редакцию 19.07.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Пашенко В.Н. Концептуальная модель автоматизированного синтеза многосекционных манипуляторов, Основанных на параллельных структурах. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 8.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/robot/986.html>

Пашенко Василий Николаевич – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Мехатроника и робототехника» Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ в области робототехники. e-mail: Pashenkovn@inbox.ru