

## **Метод проектирования пространственных древовидных исполнительных механизмов шагающих роботов**

# 11, ноябрь 2014

Ковальчук А. К., Кулаков Д. Б., Семенов С. Е., Яроц В. В.,  
Верейкин А.А., Кулаков Б. Б., Каргинов Л. А.

УДК: 681.5

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

[vyaroz@yandex.ru](mailto:vyaroz@yandex.ru)

### **Введение**

Созданная природой рычажно-шарнирная система передвижения человека и животных наиболее приспособлена для естественной земной поверхности. Для нее характерны отсутствие сплошной колеи, высокая проходимость и малые энергетические затраты на передвижение. Целесообразность использования такого способа передвижения для роботов весьма актуальна.

ИМ ШР представляют собой пространственные древовидные структуры с большим числом степеней подвижности. В процессе передвижения образуются как разомкнутые, так и замкнутые кинематические цепи, строгие математические методы анализа и синтеза которых разработаны недостаточно. Структурному анализу и синтезу посвящена обширная литература [1-8]. Однако, основное внимание авторов было уделено исследованию плоских механизмов или пространственных механизмов с небольшим числом степеней подвижности.

Работы многих авторов посвящены исследованию эффектов взаимодействия манипуляторов линейной структуры с внешней средой [9,10].

### **1. Актуальность**

Современная техника не знает других примеров машин, столь сложных с точки зрения структуры их ИМ. Известные методы оказываются малоэффективны для древовидных ИМ ШР с большим числом степеней подвижности и не позволяют осуществить их проектирование с требуемыми структурными, кинематическими и динамическими свойствами.

Отсутствие единой методологии, математического и программного обеспечения для их проектирования вынуждает разработчиков при создании каждого конкретного робота идти методом «проб и ошибок». Поэтому проблема разработки новых эффективных методов синтеза, математического описания кинематики и динамики, а также алгоритмов

управления движением для древовидных ИМ ШР является актуальной научно-технической задачей.

## 2. Метод

Предлагается метод проектирования пространственных древовидных ИМ ШР. Он базируется на совместном использовании алгоритма восстановления кинематической схемы биологического прототипа (человека или позвоночного животного) по фотографическому изображению его скелета [11, 12], теории графов [13] и теории матриц [14].

Метод позволяет в полуавтоматическом режиме получить множество вариантов кинематических структур биологического прототипа, предоставляя разработчику право выбора наиболее приемлемого варианта.

## 3. Проектирование и исследование кинематических структур древовидных исполнительных механизмов шагающих роботов

Рассмотрим применение предлагаемого метода для проектирования древовидных ИМ конкретных ШР.

**Робот-собака.** В работе [15] с использованием предлагаемого метода синтезирована кинематическая структура ИМ робота-собаки. За биологический прототип взят скелет немецкой овчарки. Проведено исследование кинематики и динамики ИМ робота-собаки, имеющего 22 степени подвижности. Получены значения параметров Денавита-Хартенберга, масс и тензоров инерции звеньев ИМ. Определены значения моментов и мощностей приводов в степенях подвижности ИМ с использованием специально разработанной в среде MATLAB программы [16].

**Робот-краб.** В качестве биологического прототипа использован скелет краба. Построена трехмерная модель робота-краба, позволившая определить массо-инерционные характеристики элементов конструкции ИМ. С использованием предлагаемого метода синтезирована кинематическая структура ИМ робота, имеющая 62 степени подвижности [17]. В результате моделирования динамики ИМ с помощью программы [16] получены значения элементов матриц, входящих в уравнение динамики, а также значение моментов, развиваемых приводами в степенях подвижности робота.

**Антропоморфный шагающий робот.** В работе [18] изложен алгоритм синтеза кинематической структуры ИМ такого робота. За биологический прототип взят скелет человека, кинематическая схема которого имеет более 300 степеней подвижности. Предложена упрощенная кинематическая схема, имеющая 114 степеней подвижности. Она рекомендована для использования в создаваемых антропоморфных роботах. В рассмотренном в работе [19] роботизированном манекене, имеющем 18 степеней подвижности, также использован предлагаемый метод для синтеза кинематической структуры его ИМ.

Анализ результатов проектирования древовидных кинематических структур рассмотренных выше ШР, а также результаты исследований, полученные в работах [20, 21], позволяют сделать вывод о том, что предлагаемый метод обладает определенной общно-

стью. Использование кинематических схем биологических прототипов, теории графов и теории матриц (4x4) позволяет проводить проектирование кинематических структур ИМ ШР независимо от их сложности и числа степеней подвижности [22].

Использование этого метода позволяет получить желаемую кинематическую схему ШР с любой степенью приближения к ее биологическому прототипу.

Совместное применение предлагаемого метода синтеза с ранее предложенным алгоритмом формирования кинематики и динамики древовидных ИМ ШР, основанном на использовании принципа Д'Аламбера, теории графов и теории матриц (4x4) [22,23] позволяет получать не только кинематическую структуру, уравнение динамики ИМ, но и формировать алгоритмы управления его движением [25].

Разработанная в среде MATLAB программа [16] позволяет проводить расчет динамики древовидных ИМ ШР. При этом учитываются наложенные на ИМ внешние связи и возмущения, а также вид закона управления приводами в степенях подвижности робота.

### **Заключение**

Отсутствие формализованных алгоритмов, позволяющих проводить расчёт пространственных древовидных ИМ с большим числом степеней подвижности, является одной из проблем при создании ШР.

Эффективным является метод, основанный на совместном использовании алгоритма восстановления кинематической схемы биологического прототипа (человека или позвоночных животных) по фотографическому изображению их скелетов, теории графов и теории матриц (4x4). Он позволяет в автоматизированном режиме получить различные варианты кинематических схем, предоставляя разработчику право выбора наиболее приемлемого.

Применение этого метода совместно с алгоритмом формирования математических моделей кинематики и динамики древовидных ИМ, основанном на использовании принципа Д'Аламбера, теории матриц (4x4) и теории графов, позволяет получить не только структуру и параметры кинематической схемы робота, но и уравнения динамики его ИМ, а также формировать алгоритмы управления его движением.

Полученные результаты являются основой для дальнейших исследований, направленных на проектирование древовидных ИМ и синтез алгоритмов управления движением ШР.

### **Список литературы**

1. Артоболевский И.И. Теория пространственных механизмов. М.; Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1937.
2. Ассур Л.В. Исследование плоских стержневых механизмов с точки зрения их структуры и классификации. М.: Изд-во АН СССР, 1952.
3. Баранов Г.Г. Курс теории механизмов и машин. М.: Машгиз, 1958.

4. Gupta, K. G., Roth. B. A general approximation theory for mechanism synthesis . ASME Journal of Applied mechanics, 42: 451-457, 1975.
5. T.S. Mruthyunjaya, M.R. Raghavan. Structural5 analysis of kinematic chains and mechanisms based on matrix representation // Journal of MechanicabDesign, Transactions of the ASME, 1990.
6. C.R. Tishler, A.E. Samuel, K.H. Hunt. Kinematic chains for robot hands-II: Kinematic constraints, classification, connectivity and actuation // Mechanism-and Machine Theory, 1995.
7. Kong, F., Zou, H. A new method for path mechanism, synthesis. Journal of Shanghai-Jiaotong University, 30(12): 8-12, 1996.
8. Proceedings of 12th World Congress, on the TMM. France, Beanson, 2007.
9. Воробьев Е.И. и др. Механика роботов (в 3-х книгах) / Под ред. К.В. Фролова и Е.И. Воробьева. Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1988.
10. Зенкевич С.Л., Юценко А.С. Основы управления манипуляционными роботами. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 480 с.
11. Usage of Biological Prototypes for Kinematical Scheme Construction of Modern Robots / К.А. Pupkov, А.К. Kovalchuk, В.В. Kulakov // Preprints of the 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. 3-5 June 2009. Moscow. PP.1829-1834.
12. Ковальчук А.К. Использование биологического прототипа при проектировании древовидных исполнительных механизмов двуногих шагающих роботов // Известия вузов. Машиностроение. 2011. № 9. С. 49-56.
13. Алексеева А.А., Таланов В.А. Графы и алгоритмы. Структур данных. Модели вычислений. М.: Изд-во Бинум, 2006. 319 с.
14. Denavit J., Hartenberg R.S. Kinematic notation for Lower-Pair Mechanisms Based on Matrices // J. Appl. Mech. 77. P. 215 – 221, 1955.
15. Ковальчук А.К. Выбор кинематической структуры и исследование древовидного исполнительного механизма робота-собаки // Известия вузов. Машиностроение. М., 2011. № 8. С. 65-73.
16. Моделирование древовидных исполнительных механизмов шагающих роботов с учётом внешних наложенных связей / А.К. Ковальчук, Л.А. Каргинов, Б.Б. Кулаков, Д.Б. Кулаков, С.Е. Семенов, В.В. Яроц, А.А. Верейкин. Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2014612547 от 28.02.2014.
17. Ковальчук А.К. Выбор кинематической структуры и исследование динамики древовидного исполнительного механизма робота-краба // Известия вузов. Машиностроение. М., 2013. №7. С. 73-79.
18. Ковальчук А.К. Проектирование исполнительного механизма антропоморфного шагающего робота. // Естественные и технические науки. М., 2014. № 2 (70). С. 162-166.

19. Ковальчук А.К. Разработка математической модели исполнительного механизма роботизированного манекена. // Научный Вестник МГТУ ГА. М., 2011. №168 (6). С.128-131.
20. Ковальчук А.К. Расчет мощности приводов робота с учетом динамики его исполнительного механизма. // Естественные и технические науки. М., 2014. № 1. С. 128-131.
21. Ковальчук А.К., Семенов С.Е., Каргинов Л.А. и др. Выбор кинематической структуры и исследование динамики древовидного исполнительного механизма робота-треножника // Инженерный вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2013. № 10. С. 507-518.
22. Ковальчук А.К. Метод синтеза древовидных исполнительных механизмов шагающих роботов // Естественные и технические науки. М., 2014. № 3 (71). С. 127-130.
23. Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е. Блочно-матричные уравнения движения исполнительных механизмов роботов с древовидной кинематической структурой. // Известия вузов. Машиностроение. М., 2008. №12. С. 5-21.
24. Ковальчук А.К. Метод математического описания кинематики и динамики древовидных исполнительных механизмов шагающих роботов // Естественные и технические науки. М., 2014. № 5 (73). С. 87-90.
25. Основы теории исполнительных механизмов шагающих роботов. // Ковальчук А.К., Кулаков Б.Б., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е., Яроц В.В. М.: Изд-во Рудомино, 2010. 170 с.