

УДК 004.896

## ГЕНЕРАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАМКНУТЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ДЛЯ КОНСТРУКЦИИ КОНЕЧНОСТЕЙ РОБОТА

Чайковский М.Е. (Университет ИТМО), Осипов Е.В. (Университет ИТМО),

Жарков К.Д. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.т.н. Борисов И.И. (Университет ИТМО)

**Введение.** Проектирование конечностей робота является трудоёмкой задачей, требующей принятия большого количества решений и экспертизы специалистов в различных областях. Приложение алгоритмов оптимизации к задаче проектирования роботов – открытая задача современной робототехники. Предполагается, что использование методов численного проектирования позволит получать более эффективные конструкции механизмов, при этом уменьшит стоимость разработки и временные затраты. Задача проектирования механизмов включающих замкнутые кинематические цепи представляет значительную сложность, так как требует как топологической, так и параметрической оптимизации. Применение численного проектирования к реальным задачам робототехники предполагает использование критериев оптимизации специально разработанных для повышения эффективности.

**Основная часть.** Разработан комплексный подход к задаче оптимизации механизмов замкнутой кинематики, в рамках которого одновременно оптимизируются топология и параметры механизма. Основные составляющие предлагаемого подхода: 1) представление механизма в виде графа, 2) использование обученного автокодировщика, 3) генеративный алгоритм, позволяющий получить широкую выборку механизмов для обучения автокодировщика и 4) специально разработанные критерии оптимизации конструкций.

Исследуемое пространство дизайнов включает механизмы замкнутой кинематики, состоящие из жёстких звеньев и вращательных кинематических пар. Любой механизм из заданного пространства может быть представлен в виде графа, причём существуют различные варианты построений графовых представлений. Мы предлагаем графовое представление механизма, в котором вершины графа соответствуют кинематическим парам, а рёбра описывают жёсткие звенья механизма. Такой подход позволяет полностью определить топологию и параметры робота, задавая только координаты сочленений и набор дискретных параметров. Графовое представление особенно удобно для задачи генерации механизмов, так как позволяет использовать развитый математический аппарат графовых алгоритмов. Для обучения автокодировщика была сгенерирована выборка механизмов, включающая все возможные в данном дизайн пространстве варианты топологии. Для генерации графов использовался метод Монте-Карло, обеспечивший репрезентативность обучающей выборки и алгоритм создания конструкций с замкнутой кинематикой на основе присоединения параллельных кинематических цепочек [1].

Обученный автокодировщик сопоставляет графу механизма вектор в многомерном пространстве. Векторное представление используется оптимизационным алгоритмом для поиска оптимального решения по заданной целевой функции. В нашем исследовании оптимизация направлена на получение конструкций, которые в дальнейшем могут быть использованы для построения реальных эффективных роботов, поэтому для построения целевой функции, наряду с традиционными критериями оценивающими энергоэффективность (Cost of Transport), были использованы разработанные в последние годы критерии направленные на оптимизацию конструкции, такие как изотропия инерции, уменьшение эффектов контактных взаимодействий и объём рабочей области [2].

**Выводы.** Разработан алгоритм для генерации и оптимизации конструкций конечностей робота включающих замкнутые кинематические цепочки.

**Список использованных источников:**

1. D. V. Ivolga, I. I. Borisov, K. V. Nasonov and S. A. Kolyubin, "Computational Design of Closed-Chain Linkages: Respawn Algorithm for Generative Design," 2023 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Detroit, MI, USA, 2023, pp. 481-486, doi: 10.1109/IROS55552.2023.10341425.

2. Batto V. et al. Comparative metrics of advanced serial/parallel biped design and characterization of the main contemporary architectures //2023 IEEE-RAS 22nd International Conference on Humanoid Robots (Humanoids). – IEEE, 2023. – C. 1-7.