

Модель управления многозвенным роботом-манипулятором в условиях неопределенности внешней среды

М. И. Дли^{1,2}, Н. Н. Прокимнов², А. М. Соколов^{3}, М. Ю. Воротилова¹*

¹Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск, Россия,

²Университет «Синергия», Москва, Россия

³Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

*andreisokol98@gmail.com

Аннотация. Предложена структура модели управления многозвенным роботом-манипулятором, отличительной чертой которой выступает включение в нее блоков решения задач прямой и обратной динамики, использующих нечеткий интервальный метод. Актуальность темы исследования характеризуется необходимостью разработки и внедрения робототехнических комплексов для замены человеческого труда в условиях опасных и вредных производств, а также совершенствованием алгоритмического обеспечения систем управления роботами в условиях неопределенности внешней среды. Разработаны алгоритмы решения прямой и обратной задач динамики многозвенных роботов-манипуляторов, в основе которых лежит описание движения звеньев робота в виде системы уравнений, учитывающих неопределенности внешней среды, моделируемой методами нечеткой логики. Объектом исследования выступали технологические зоны в непосредственной близости от агрегатов окомкования мелкорудного сырья и рудонагревательных печей горно-обогажительных комбинатов, где присутствуют факторы неопределенности внешней среды двух основных групп: к первой относятся факторы, затрудняющие определение координат целевого объекта захвата МРМ (например, как следствие запыленности среды), ко второй – факторы, влияющие на перемещение подвижных частей робота (например, вызванные износом или нагревом частей механизмов). Апробирование предложенных алгоритмов проводилось в модельном эксперименте в среде MatLab с использованием инструментов физического моделирования Simscape, а также Robotics System Toolbox для проектирования, моделирования и тестирования робототехнических приложений. Эксперимент показал, что точность позиционирования концевой эффектора многозвенного робота-манипулятора в случае применения предложенного интервального метода хотя и составляет не доли, а несколько процентов от заданного терминального положения, тем не менее превосходит решения, получаемые с использованием стандартного инструментария Robotics System Toolbox, не адаптированного для работы в условиях неопределенности внешней среды.

Ключевые слова: интервальные дифференциальные уравнения, прямая и обратная задачи динамики, многозвенные роботы-манипуляторы, нечеткая логика

Для цитирования: Дли М.И., Прокимнов Н.Н., Соколов А.М., Воротилова М.Ю. Модель управления многозвенным роботом-манипулятором в условиях неопределенности внешней среды // Прикладная информатика. 2025. Т. 20. № 1. С. 68–84. DOI: 10.37791/2687-0649-2025-20-1-68-84

Model of control of a multi-link robot manipulator under conditions of environmental uncertainty

M. Dli^{1,2}, N. Prokimnov², A. Sokolov³, M. Vorotilova¹

¹Branch of the National Research University "MPEI" in Smolensk, Smolensk, Russia

²Synergy University, Moscow, Russia

³National Research University "MPEI", Moscow, Russia

andreisokol98@gmail.com

Abstract. The structure of the control model of a multi-link robot manipulator is proposed, the distinctive feature of which is the inclusion of blocks for solving problems of direct and inverse dynamics using the fuzzy interval method. The relevance of the research topic is characterized by the need to develop and implement robotic systems to replace human labor in hazardous and harmful industries, as well as to improve the algorithmic support of robot control systems in conditions of environmental uncertainty. Algorithms for solving direct and inverse problems of the dynamics of multi-link robot manipulators have been developed, based on a description of the motion of MLRM links in the form of a system of equations that take into account the uncertainties of the external environment, modeled by fuzzy logic methods. The object of the study was the process zones in the immediate vicinity of small-ore pelletizing units and ore heating furnaces of mining and processing plants, where there are uncertainty factors of the external environment of two main groups: the first includes factors that complicate the determination of the coordinates of the target object of the MLRM capture (for example, as a result of the dustiness of the environment), the second – factors affecting the movement of the moving parts of the MLRM (for example, caused by wear or heating of parts of the mechanisms). Testing of the proposed algorithms was carried out in a model experiment in the MatLab environment using the Simscape physical modeling tools, as well as the Robotics System Toolbox for designing, modeling and testing robotic applications. The experiment showed that the accuracy of positioning the end effector of the MRM in the case of using the proposed interval method, although it is not a fraction, but several percent of the specified terminal position, but exceeds the solutions obtained using the standard Robotics System Toolbox tools, which are not adapted to work in conditions of environmental uncertainty.

Keywords: interval differential equations, direct and inverse dynamics, multi-link robot manipulators, fuzzy logic

For citation: Dli M., Prokimnov N., Sokolov A., Vorotilova M. Model of control of a multi-link robot manipulator under conditions of environmental uncertainty. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2025, vol.20, no.1, pp.68-84 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2025-20-1-68-84

Введение

Производительность труда принадлежит к важнейшим факторам повышения конкурентоспособности и стабильного роста национальной экономики [1], обеспечивая снижение себе-

стоимости продукции и увеличивая размер получаемой предприятиями прибыли. В условиях ограниченности трудовых ресурсов, характерной для Российской Федерации в последние годы, наиболее перспективным направлением обеспечения