

# Метод решения обратной задачи кинематики на основе обучения с подкреплением при управлении роботами-манипуляторами

*А.Ю. Пучков<sup>1</sup>, М.И. Дли<sup>1,2</sup>, М.Г. Тиндова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск, Россия

<sup>2</sup>Университет «Синергия», Москва, Россия

*putchkov63@mail.ru*

**Аннотация.** Предложен метод решения обратной задачи кинематики для трехзвенного робота-манипулятора на основе одной из разновидностей машинного обучения – обучения с подкреплением. В общем случае эта задача состоит в нахождении законов изменения обобщенных координат захватного устройства манипулятора, обеспечивающих заданные кинематические параметры. При аналитическом решении задачи основой для расчета инверсной кинематики являются параметры Денавита – Хартенберга с дальнейшим выполнением численных матричных вычислений. Однако с учетом кинематической избыточности многозвенных манипуляторов такой подход трудоемкий и не позволяет в автоматизированном режиме учитывать изменения внешней среды в реальном времени, а также особенности области применения робота. Поэтому актуальной исследовательской задачей является разработка решения, в структуре которого присутствует блок самообучения, обеспечивающий решение обратной задачи кинематики в условиях изменяющейся внешней среды, поведение которой заранее неизвестно. В основе предлагаемого метода лежит имитация процесса достижения цели управления роботом (позиционирования захватного устройства манипулятора) в заданной точке пространства методом проб и ошибок. За приближение к цели на каждом шаге обучения вычисляется функция награды, которая используется при управлении роботом. В предложенном методе агентом является рекуррентная искусственная нейронная сеть, а средой, состоянием которой наблюдается и оценивается, – робот-манипулятор. Применение рекуррентной нейронной сети позволило учитывать предысторию движения манипулятора и преодолевать сложности, связанные с тем, что в одну и ту же точку рабочей области могут приводить разные сочетания углов между звеньями. Апробирование предложенного метода проводилось на виртуальной модели робота, выполненной с помощью набора инструментов MatLab Robotics System Toolbox и среды Simscape, и оно показало высокую эффективность по критерию «время – точность» предложенного метода решения обратной задачи кинематики.

**Ключевые слова:** обратная задачи кинематики, роботы-манипуляторы, рекуррентные нейронные сети

**Для цитирования:** Пучков А.Ю., Дли М.И., Тиндова М.Г. Метод решения обратной задачи кинематики на основе обучения с подкреплением при управлении роботами-манипуляторами // Прикладная информатика. 2023. Т. 18. № 6. С. 120–133. DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-6-120-133

# A method for solving the inverse kinematics problem based on reinforcement learning for controlling robotic manipulators

A. Puchkov<sup>1</sup>, M. Dli<sup>1,2</sup>, M. Tindova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Branch of the National Research University "MPEI" in Smolensk, Smolensk, Russia

<sup>2</sup>Synergy University, Moscow, Russia

putchkov63@mail.ru

**Abstract.** A method for solving the inverse kinematics problem for a three-link robotic manipulator is proposed based on one of the types of machine learning - reinforcement learning. In the general case, this task consists of finding the laws of change in the generalized coordinates of the manipulator's gripping device that provide the specified kinematic parameters. When solving the problem analytically, the basis for calculating inverse kinematics is the Denavit – Hartenberg parameters with further implementation of numerical matrix calculations. However, taking into account the kinematic redundancy of multi-link manipulators, this approach is labor-intensive and does not allow automated consideration of changes in the external environment in real time, as well as the features of the robot's field of application. Therefore, an urgent research task is to develop a solution whose structure contains a self-learning block that provides a solution to the inverse kinematics problem under conditions of a changing external environment, the behavior of which is unknown in advance. The proposed method is based on simulating the process of achieving the goal of robot control (positioning the gripping device of the manipulator) at a given point in space using the trial and error method. For approaching the goal at each learning step, a reward function is calculated, which is used when controlling the robot. In the proposed method, the agent is a recurrent artificial neural network, and the environment, the state of which is observed and assessed, is a robotic manipulator. The use of a recurrent neural network made it possible to take into account the history of the movement of the manipulator and overcome the difficulties associated with the fact that different combinations of angles between links can lead to the same point in the workspace. Testing of the proposed method was carried out on a virtual model of the robot, made using the MatLAB Robotics System Toolbox and the Simscape environment, which showed high efficiency in terms of the "time – accuracy" criterion of the proposed method for solving the inverse kinematics problem.

**Keywords:** inverse kinematics problems, robotic manipulators, recurrent neural networks

**For citation:** Puchkov A., Dli M., Tindova M. A method for solving the inverse kinematics problem based on reinforcement learning for controlling robotic manipulators. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2023, vol.18, no.6, pp.120-133 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-6-120-133

## Введение

Применение концепции киберфизических систем предполагает интеграцию вычислительных ресурсов в физические сущности производственно-технологического процесса, что, в свою очередь, под-

разумевает широкую автоматизацию процессов производства, включающую в себя применение технологических роботов, использующих вычислительные ресурсы для анализа внешней среды и выработки управлений.