

**ТЕХНОЛОГИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА КАК  
ИНСТРУМЕНТ ОБУЧЕНИЯ РОБОРУКИ:  
ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ АРХИТЕКТУРА,  
ЗАДАЧИ И ПРОБЛЕМЫ**

*Прихно Мария Александровна<sup>1</sup>  
Бегишев Руслан Ренатович<sup>2</sup>  
Злобин Дмитрий Васильевич<sup>3</sup>*

1: *Студент, физический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

2: *Студент, факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

3: *Аспирант, факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: markprikhno@gmail.com, begrusso@gmail.com, dimz94@mail.ru*

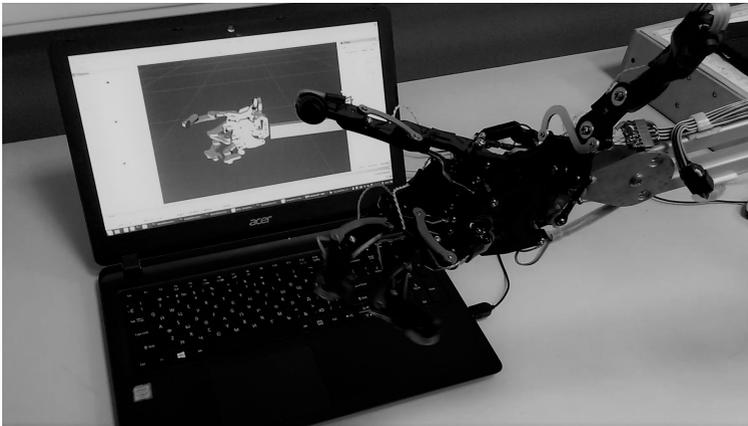
Ближайшую индустриальную революцию (переход к индустрии 4.0) связывают с внедрением в производство интеллектуальных систем управления. Такие системы должны быть способны выполнять сложные задачи в неопределенной среде при большой неполноте информации. Один из способов создания таких систем — использование машинного обучения, которое требует множества итераций для успешного выявления зависимостей в данных. Однако повторы эпизодов на реальных роботах быстро их изнашивают и нуждаются в больших времязатратах. Использование компьютерного моделирования и последующий перенос обученных алгоритмов в реальность — возможный подход к решению возникающей проблемы [1]. В симуляции используется цифровой двойник, то есть идентичная модель робота с аналогичным интерфейсом управления [2].

В работе был создан цифровой двойник робота-манипулятора со схватом, имитирующим человеческую кисть, для последующего обучения поиску и захвату объектов. Существующие подходы к решению такой задачи есть, например, использование камер для захвата предметов или распознавание объектов на ощупь с помощью множества датчиков давления на ладони [3]. Разработанный нами манипулятор имеет шесть степеней свободы: сгиб пяти пальцев, управляющихся сервомашинками, и переносная степень свободы для поднесения схвата к предмету; на пальцах установлены датчики давления.

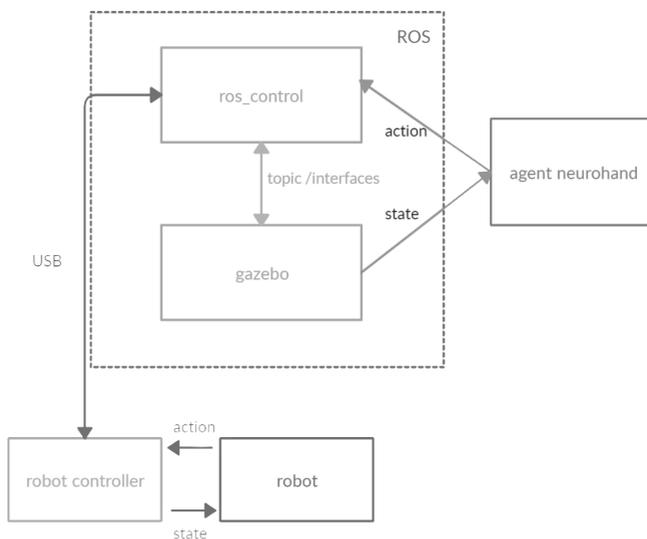
Чертежи манипулятора были перенесены в систему моделирования и визуализации динамики твердых тел Gazebo с физическим движком ODE (Open Dynamic Engine); написаны плагины для мо-

делирования приводов схвата и прочих упругих элементов. Одной из проблем моделирования стало трение, так как контакт твердых тел описывается точным совпадением координат, что в системе дискретного времени почти не происходит. Система управления строится на фреймворке для программирования роботов ROS (Robot Operating System) с использованием `ros_control`, на основе которого написаны плагины как для связи с реальным роботом, так и с Gazebo. Такой общий интерфейс – одна из важных характеристик цифрового двойника. При создании подходящей среды для обучения с подкреплением использовался инструментарий OpenAI Gym, дающий возможность использовать универсальные алгоритмы обучения. Интеграция была осуществлена с помощью пакета `openai_ros`, позволяющего построить на основе абстрактных классов специфическую среду для решения конкретных задач. Была выбрана функция награды, стимулирующая к поиску объекта. Дальнейший цикл обучения и управления включал в себя последовательное считывание состояния системы и выбор управляющего воздействия, максимизирующего награду.

## Иллюстрации



Реальная модель манипулятора и ее цифровой двойник.



Используемая архитектура модели.

### Литература

1. El-Shamouty M., Kleeberger K., Lämmle A., Huber M.. Simulation-driven machine learning for robotics and automation // tm - Technisches Messen, 2019
2. Malykhina G., Tarkhov D. Digital Twin Technology As A Basis Of The Industry In Future. // 18th PCSF 2018 - Professional Culture of the Specialist of the Future, St. Petersburg, Russia, 2018, P. 416-428.
3. Sundaram S., Kellnhofner P., Li Y. et al. Learning the signatures of the human grasp using a scalable tactile glove. // Nature. 2019. № 569, P. 698–702.