

OPTIMIZATION OF THE ACCELERATOR CONTROL BY REINFORCEMENT LEARNING: A SIMULATION-BASED APPROACH

A. Ibrahim^{1, *}, *D. Derkach*^{1, **}, *A. Petrenko*^{2, ***},
F. Ratnikov^{1, ****}, *M. Kaledin*^{1, *****}

¹ Laboratory of Methods for Big Data Analysis, HSE University, Moscow, Russia

² Budker Institute of Nuclear Physics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

Optimizing accelerator control is a critical challenge in experimental particle physics, requiring significant manual effort and resource expenditure. Traditional tuning methods are often time-consuming and reliant on expert input, highlighting the need for more efficient approaches. This study aims to create a simulation-based framework integrated with Reinforcement Learning (RL) to address these challenges. Using Elegant as the simulation backend, we developed a Python wrapper that simplifies the interaction between RL algorithms and accelerator simulations, enabling seamless input management, simulation execution, and output analysis.

The proposed RL framework acts as a co-pilot for physicists, offering intelligent suggestions to enhance beamline performance, reduce tuning time, and improve operational efficiency. As a proof of concept, we demonstrate the application of our RL approach to an accelerator control problem and highlight the improvements in efficiency and performance achieved through our methodology. We discuss how the integration of simulation tools with a Python-based RL framework provides a powerful resource for the accelerator physics community, showcasing the potential of machine learning in optimizing complex physical systems.

Оптимизация управления ускорителями — одна из ключевых задач экспериментальной физики элементарных частиц. Традиционные методы настройки требуют значительных усилий и существенно зависят от опыта экспертов, что открывает окно возможностей для автоматизации используемых подходов.

В данном исследовании предлагается создать симуляционный фреймворк, интегрированный с методами обучения с подкреплением (RL), для решения подобных задач. В качестве ядра симуляции работы ускорителя использовался пакет Elegant. Для упрощения взаимодействия RL-алгоритмов с этим ядром был разработан Python-интерфейс, обеспечивающий удобное управление входными данными, обработку симуляции и анализ получаемых результатов.

* E-mail: aibrahim@hse.ru

** E-mail: dderkach@hse.ru

*** E-mail: A.V.Petrenko@inp.nsk.su

**** E-mail: fratnikov@hse.ru

***** E-mail: mkaledin@hse.ru

Предлагаемый RL-фреймворк работает как «второй пилот» для физиков, предоставляя интеллектуальные рекомендации для повышения качества пучков, позволяя сократить время настройки и улучшить эксплуатационную эффективность ускорителя.

В данной работе демонстрируется описанная концепция с применением основанного на RL подхода к задаче управления модельным пучковым трактом. Подход позволил улучшить эффективность и производительность системы. Также обсуждается возможность того, насколько интеграция инструментов симуляции пучков с RL-фреймворком может помочь сообществу физиков-ускорительщиков при использовании потенциала машинного обучения для оптимизации сложных физических систем.

PACS: 07.05.-t; 07.05.Mh; 29.20.-c