

Управление макетами наноспутников на аэродинамическом столе с помощью машинного обучения

Толканев А. А., студент 4 курса ФУПМ

Научный руководитель: к.ф.-м.н., Иванов Д. С.

ИПМ им.М.В.Келдыша РАН

Содержание

- Актуальность
- Цель работы
- Постановка задачи
- Введение в задачи машинного обучения
- Применение машинного обучения
- Заключение

Применение машинного обучения для задач управления движением космических аппаратов

- Адаптивное управление при маневрировании
- Поддержание формации спутников на низких околоземных орбитах с использованием силы атмосферного торможения
- Управление ориентацией космических аппаратов

Особенности рассматриваемых систем:

- Плохо известные модели движения и возмущений
- Неизвестные параметры системы управления

Постановка задачи

Дано:

- Макет наноспутника на аэродинамическом столе
- Возмущения среды
- Требуемая траектория движения

Необходимо:

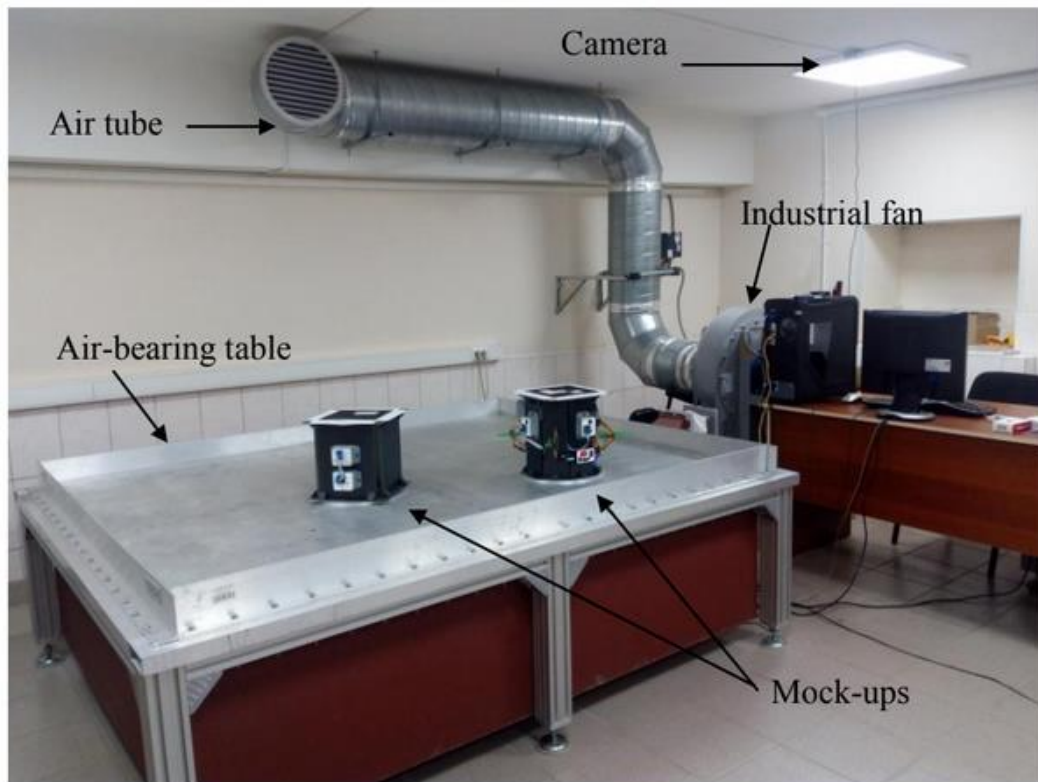
- Разработать алгоритм управления макетом для достижения требуемой траектории с использованием машинного обучения

Описание стола

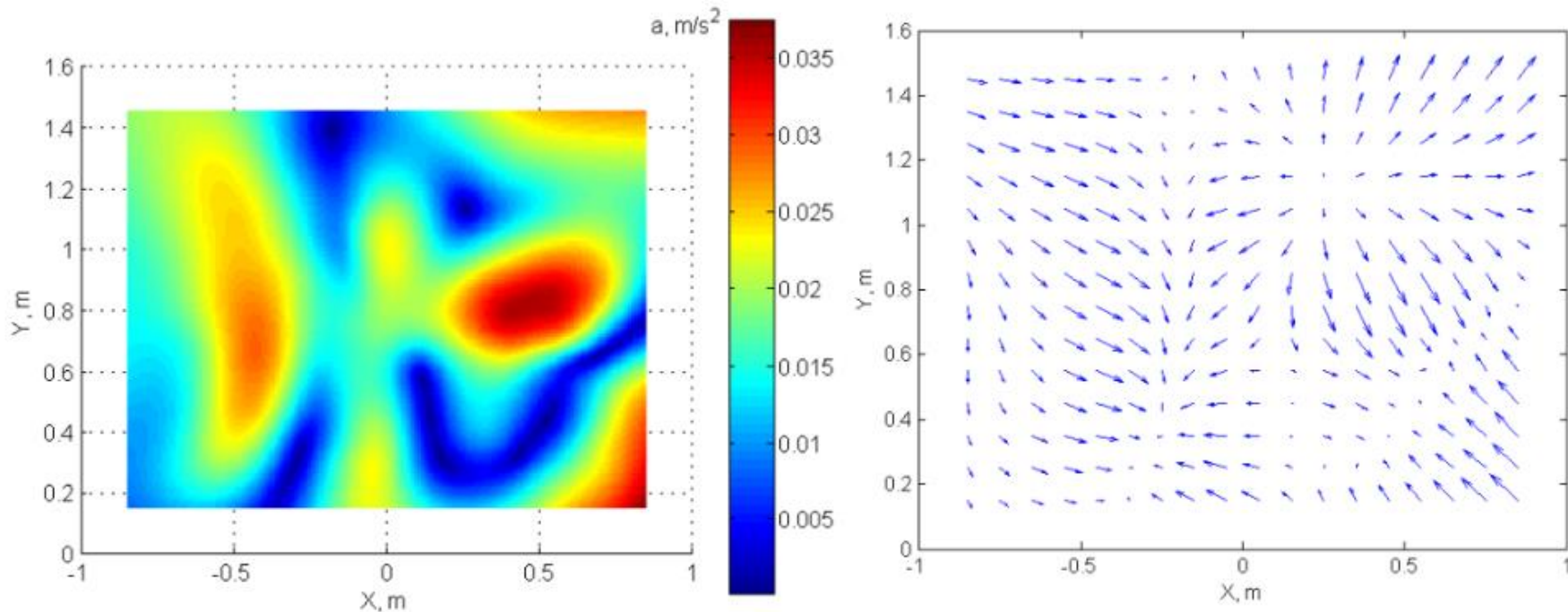
С помощью промышленного вентилятора создается воздушная подушка

На макет действуют аэродинамические и гравитационные возмущения

Считаем, что возмущения среды стационарные



Возмущения, действующие на макеты на столе

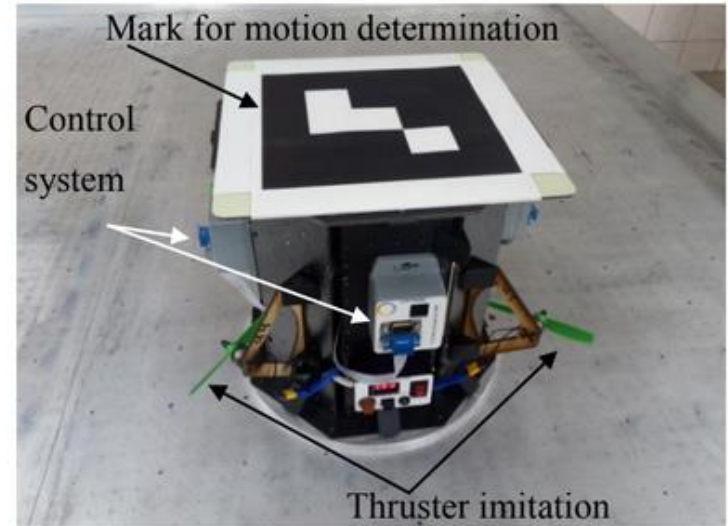


Величины и направления векторов возмущающих ускорений, вызванных неровностью поверхности стола и неравномерностью воздушных потоков

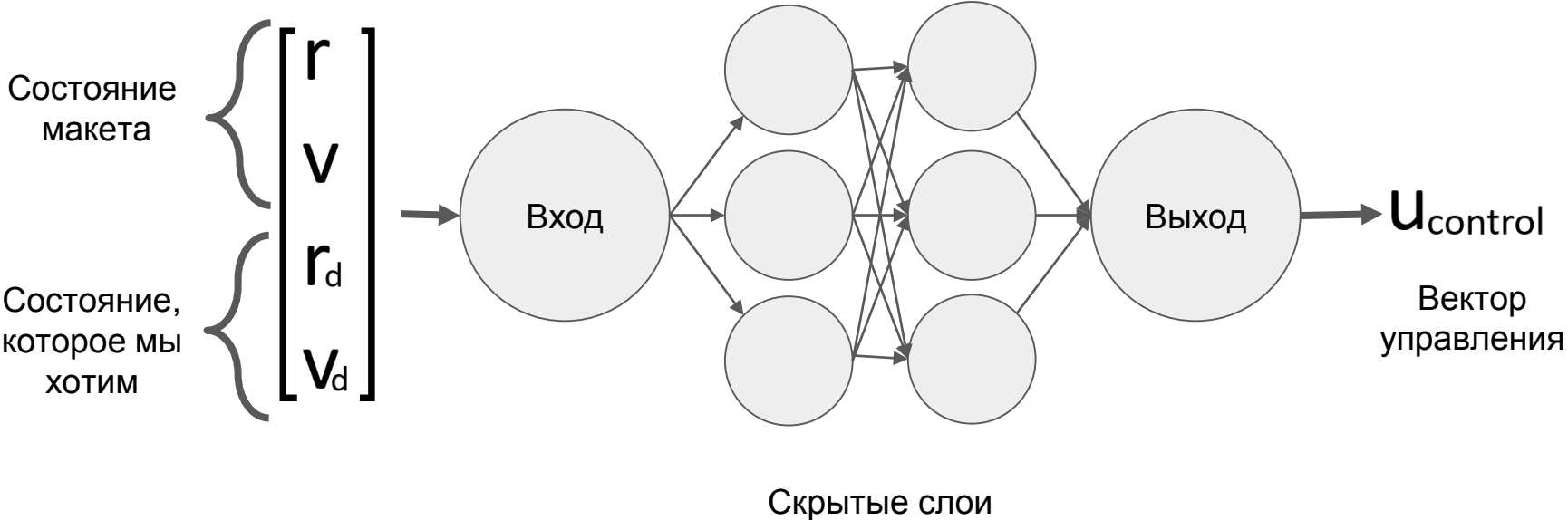
Описание макета

Макет имеет физические размеры, но мы рассматриваем его как материальную точку. Чтобы учесть размеры, уменьшаем рассматриваемую рабочую область стола

Предполагаем, что мы знаем, как управлять макетом в идеальной среде, например, с помощью PD-регулятора



Многослойный перцептрон



Скрытый слой

$$ReLU(x) = \begin{cases} x, & x > 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$y_i = f(w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_mx_m)$$

Веса нейросети

Выходы предыдущего
слоя

y_1

y_2

...

y_n

Методы обучения

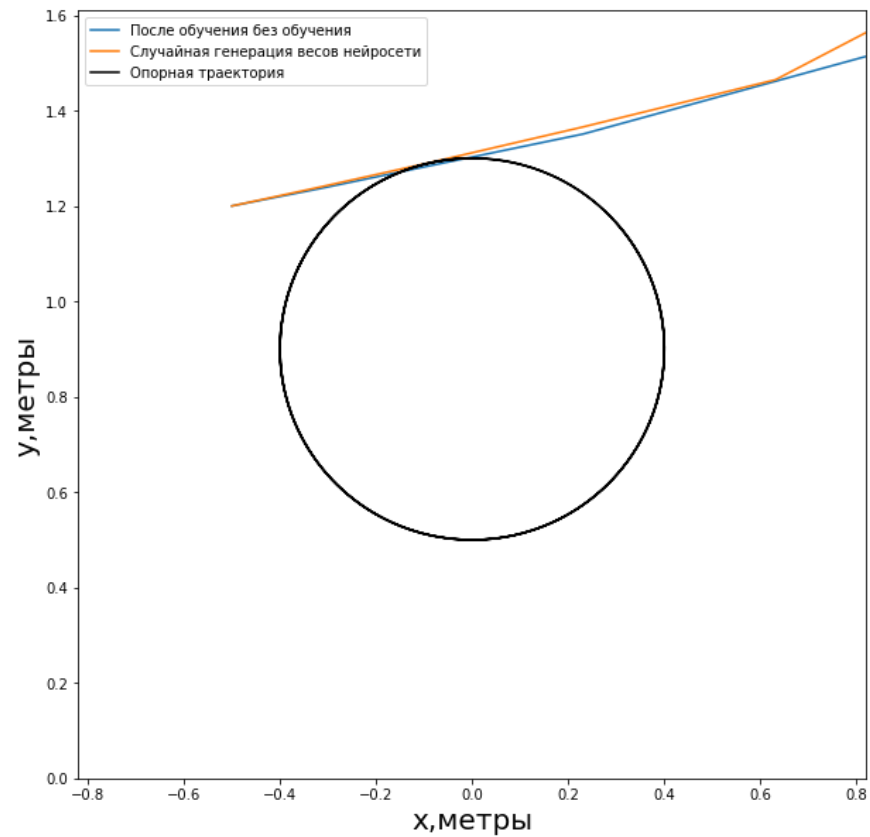
Обучение производится с помощью backpropagation:

$$w_{new} = w_{old} - \alpha * \nabla Loss(w_{old})$$

Либо с помощью GSD (стохастический градиентный спуск):

$$w_{new} = w_{old} - \alpha * \psi$$
$$E\psi = \nabla Loss(w_{old})$$

Обучение на траекториях



Предобучение

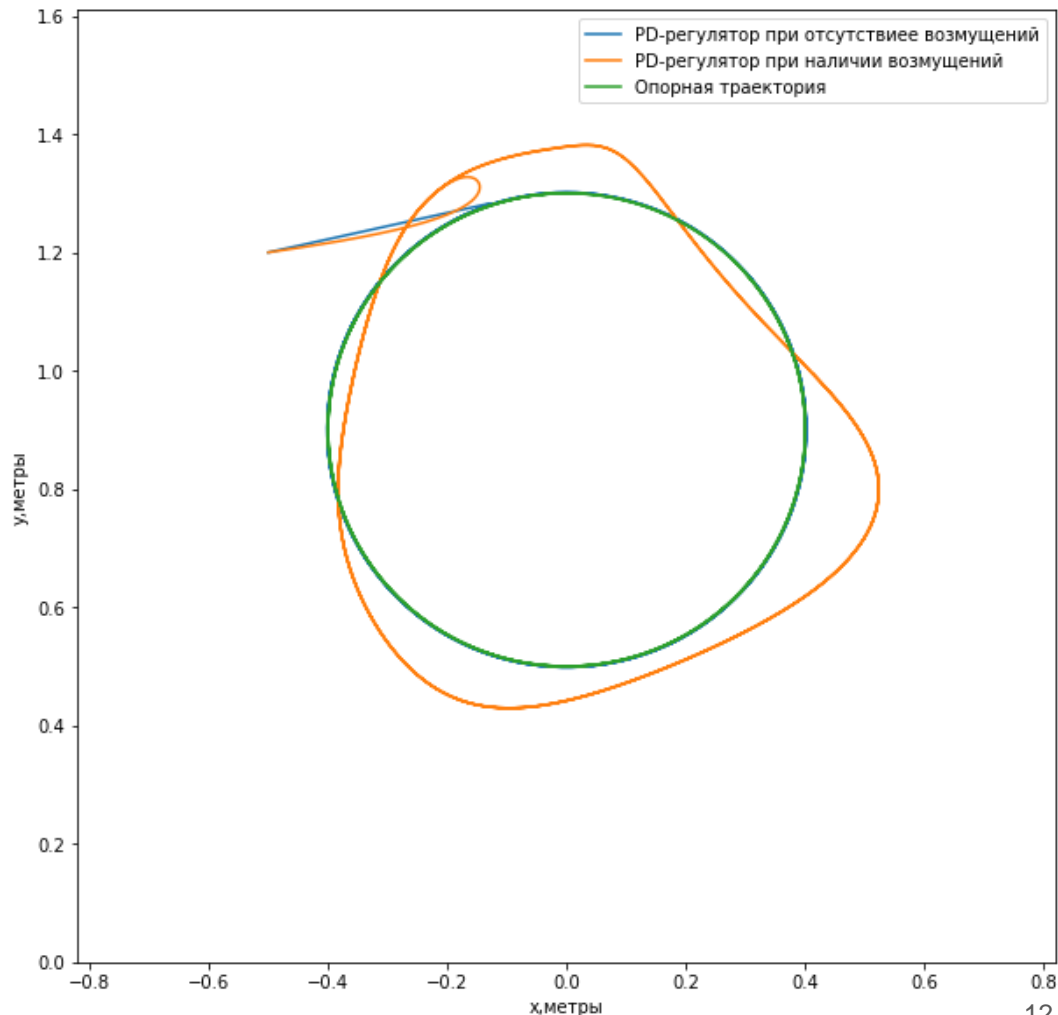
Используем PD-регулятор

Ляпуновская функция:

$$V = \frac{1}{2} (\mathbf{e}_r^T K_1 \mathbf{e}_r + \mathbf{e}_v^T \mathbf{e}_v)$$

Управление на основе
PD-регулятора:

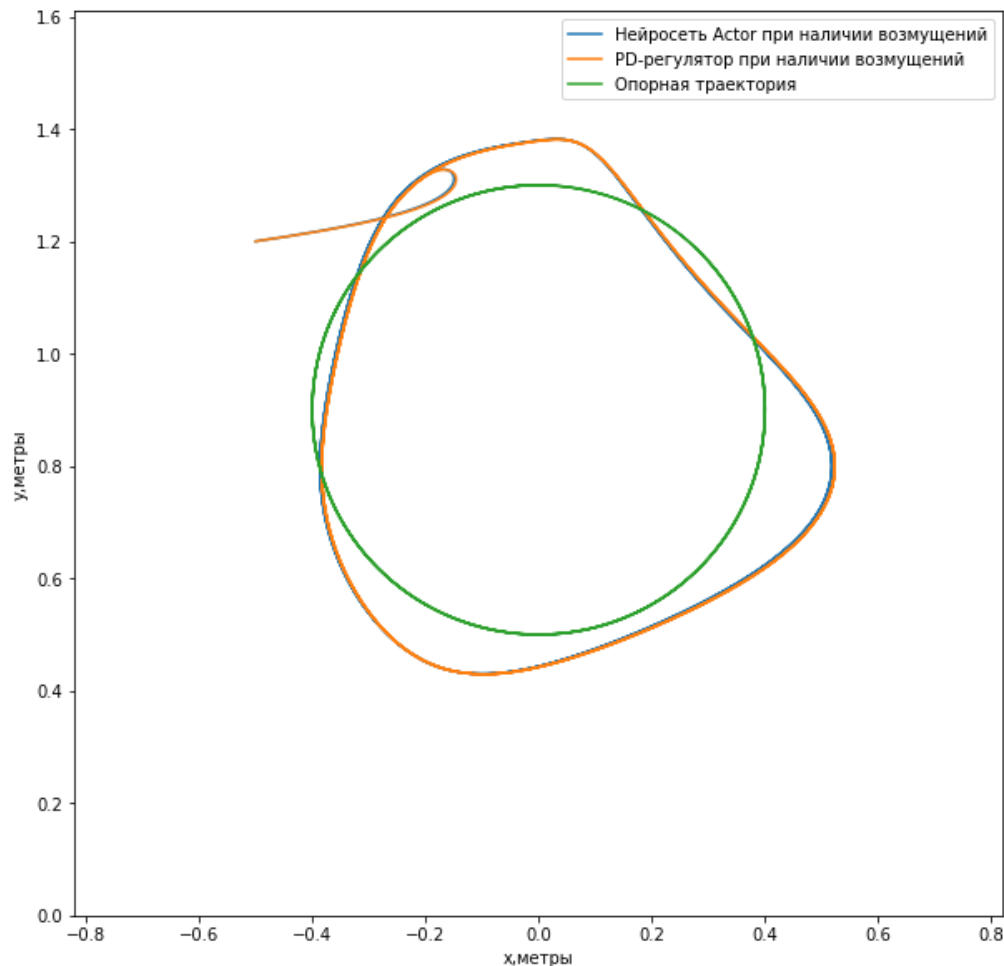
$$\mathbf{u} = -K_1 \mathbf{e}_r - K_2 \mathbf{e}_v$$



Предобучение

Пытаемся повторить
управление

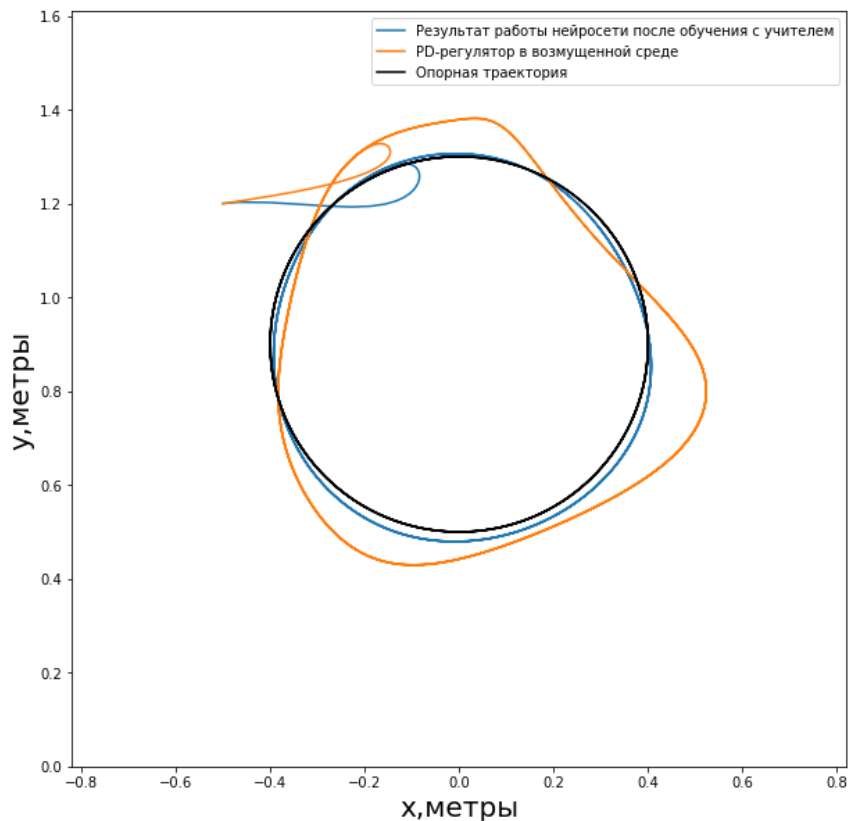
На графике показано
как ведет себя PD-
регулятор и
предобученное
управление в
возмущенной среде



Обучение в возмущенной среде

Последовательность действий при обучении:

- данные генерируются на траектории
- добавляются возмущения к сгенерированным данным
- добавляются возмущения к подаваемым на нейросеть ускорениям
- при улучшении обучается



Заключение

- Предложен алгоритм адаптивного управления с помощью машинного обучения
- Проведено предобучения двух нейронных сетей Actor и Critic, которые показывают значительное улучшение траектории движения макета по сравнению с траекторией под действием ПД-регулятора
- Планируется продемонстрировать работу алгоритма управления на основе обучения с подкреплением
- Запланирована реализация алгоритма на макете микроспутника на стенде в ИПМ им М.В. Келдыша РАН

Спасибо за внимание!