

Классификация физических траекторий с помощью Physics-Informed Neural Networks

Александр Иванович Богданов

Московский физико-технический институт

Курс: Моя первая научная статья

Эксперт: В. В. Стрижов

Консультант: С. К. Панченко

2023

Цель исследования

Цель

Исследование методов решения задачи классификации.

Задача

Решение задачи классификации с помощью лагранжевой нейронной сети.

Решение

Моделирование обобщенного лагранжиана и последующим сравнением полученных коэффициентов для определения вида активности на датасете PAMAP2.

- ▶ Северилов Павел. Выбор оптимальной модели в задаче моделирования динамики физической системы.
<https://github.com/severilov/master-thesis>.
- ▶ Miles Cranmer, Sam Greydanus, Stephan Hoyer, Peter Battaglia, David Spergel, and Shirley Ho. Lagrangian neural networks. arXiv preprint arXiv:2003.04630, 2020.

Задача регрессии динамики физической системы

Задана выборка из точек траектории $\{\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i\}$, где $\mathbf{x}_i = (\mathbf{q}_i, \dot{\mathbf{q}}_i)$,
 $\mathbf{y}_i = \dot{\mathbf{x}}_i = (\dot{\mathbf{q}}_i, \ddot{\mathbf{q}}_i)$

Регрессионная модель выбирается из класса нейронных сетей:

$$\mathbf{f}: (\mathbf{w}, \mathbf{X}) \rightarrow \hat{\mathbf{y}},$$

Функцией ошибки взята квадратичная ошибка:

$$\mathcal{L}(\mathbf{y}, \mathbf{X}, \mathbf{w}) = \|\hat{\mathbf{y}} - \mathbf{y}\|_2^2.$$

Зафиксируем выборку $\mathcal{L}(\mathbf{w}) = \mathcal{L}(\mathbf{y}, \mathbf{X}, \mathbf{w})$.

Задача моделирования динамики системы представлена в виде задачи минимизации квадратичной ошибки:

$$\mathbf{w}^* = \arg \min_{\mathbf{w} \in \mathbb{W}} (\mathcal{L}(\mathbf{w})).$$

Задача классификации физических траекторий

Выборка $H = \{L_i(\mathbf{w}^*)\}_{i=1}^n$ - множество объектов с известными метками, где каждый объект - обобщенный лагранжиан.

С помощью известных классификаторов решается задача:

$$L(\mathbf{w}^*) \rightarrow \{1 \dots K\}.$$

Подготовка данных

Для эксперимента используется датасет RAMAP2. В нём есть несколько проблем:

- ▶ Пропуски данных, связанные с тем, что датчик может пропустить такт. Для восстановления данных использовалась сплайн-интерполяция.
- ▶ Отсутствие необходимых данных: ускорения и координаты. Для их получения использовались методы вычислительной математики.

Для получения ускорения:

$$f'(x_i) \approx \frac{f(x_{i+1}) - f(x_{i-1}))}{2h}$$

Для получения координаты:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{3} \sum_{k=1}^{N-1} (f(x_{k+1}) + 4f(x_k) + f(x_{k-1}))$$

Вычислительный эксперимент

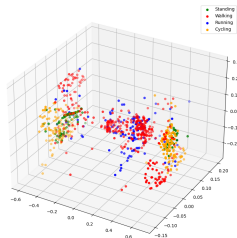
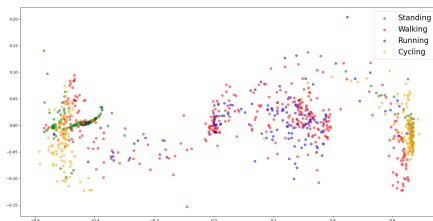
Датасет:

- ▶ Акселерометры:
 - ▶ На запястье рабочей руки
 - ▶ На рабочей ноге
 - ▶ На ноге
- ▶ Частота акселерометров: 100 Гц.
- ▶ Количество классов: $K = 24$, используется 4.

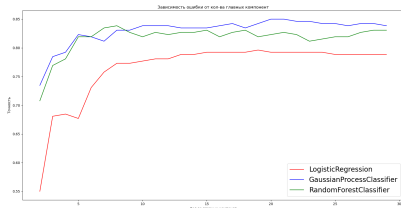
Фиксируется подвыборка из датасета РАМАР2. Для каждого объекта строится обобщенный лагранжиан. С помощью различных классификаторов определяем принадлежность к какому-либо классу. Понижается размерность данных, а затем строится график распределения данных.

Анализ ошибки

Распределение классов:



Точность:



- ▶ LogisticRegression: 79%
- ▶ GaussianProcessClassifier: 86%
- ▶ RandomForestClassifier: 85%

Заключение

- ▶ Предложен метод решения задачи классификации динамических систем с помощью лагранжевой нейронной сети.
- ▶ Проведен вычислительный эксперимент на датасете РАМАР2, который содержит данные о активности человека.
- ▶ Получено, что при использовании данного метода, получается хорошая точность предсказания.