



Machine  
Intelligence  
Laboratory

---

Гончаров А.В.

# МЕТОДЫ МНОЖЕСТВЕННОГО ВЫРАВНИВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

---

Кафедра Интеллектуальных Систем,  
МФТИ, 2018-2022

# Введение

## Актуальность

Исследование направлено на решение проблемы построения моделей классификации и кластеризации пространственно-временных объектов в условиях недостаточного объема данных для обучения моделей.

Следствием недостаточного объема данных в задачах классификации и кластеризации временных рядов является неустойчивость моделей к локальным и глобальным сдвигам, сжатиям и растяжениям пространственно-временных объектов по оси времени.

# Введение

## На защиту выносятся

1. Исследованы способы представления пространственно- временных рядов и выравнивающего пространства;
2. Предложен метод выравнивания пространственно-временных рядов в их непрерывном представлении;
3. Предложен метод нахождения центроида при кластеризации пространственно-временных рядов;
4. Исследованы свойства метрических пространств, задаваемых выравнивающим отображением;
5. Предложены методы взвешенного выравнивания и выравнивания скрытых представлений;
6. Предложенные методы проанализированы с помощью вычислительных экспериментов

# Исследовательская работа

## Цели работы

Объектом исследования работы выбран пространственно-временной ряд и его непрерывные аппроксимирующие представления. В работе решается проблема нетривиальности построения классов (кластеров) эквивалентности в связи с необходимостью использования выравнивающих монотонных преобразований. Используется непрерывное представление исследуемого объекта и выравнивающего отображения, методы функционального анализа данных и дифференциальной геометрии.

# Исследовательская работа

## Цели работы

1. Разработать и обосновать метод множественного выравнивания пространственно-временных рядов для решения задачи вычисления расстояния для набора временных рядов, многомерных временных рядов и временных рядов с несколькими осями времени;
2. Предложить метод взвешенного выравнивания временных рядов для выделения наиболее значимых для решения задачи классификации участков временного ряда;
3. Предложить метод выравнивания скрытых представлений для решения задачи иерархического выравнивания временного ряда на разных уровнях абстракции и для снижения вычислительной сложности при решении задачи;
4. Предложить метод выравнивания непрерывных объектов для решения задачи вычисления расстояния между объектами в пространстве непрерывного времени;
5. Разработать алгоритм построения моделей и провести вычислительный эксперимент для сравнения различных методов выравнивания и вычисления значения расстояния по множеству невязок при решении задачи метрической классификации и кластеризации.

# Исследовательская работа

## Методы исследования

Решается задача расчета расстояния между двумя пространственно-временными объектами, которые могут быть нелинейно деформированы вдоль оси времени.

Применяется метод динамического выравнивания временных рядов: рассчитывается матрица попарных расстояний, внутри которой при помощи методов динамического программирования осуществляется поиск выравнивающего пути между двумя временными рядами. Этот путь используется для расчета расстояния, так как выравнивает оси времени пространственно-временных объектов друг относительно друга оптимальным образом.

# Исследовательская работа

## Методы исследования

Так как в общем случае **измерений** у объекта может быть **много**, а аналогов временных шкал может быть также несколько - необходимо подготовить **обобщение метода** для выравнивания **произвольного пространственно-временного объекта**. В работе исследуются методы множественного выравнивания между объектами такой сложной структуры.

Так как в общем случае могут сравниваться **объекты с разной частотой дискретизации** или же со случайным порядком детектируемых событий, необходимо предложить абстракцию метода, которая будет устойчива к подобным условиям. Таким образом, работа предлагает провести переход к **непрерывному представлению объектов** и работать с ними как с непрерывными, а не дискретными объектами.

Так как существует потребность расчета расстояния между **сложными объектами** (например, видеопоследовательности), предлагается провести адаптацию метода множественного выравнивания к работе со **скрытыми представлениями**.

Так как при анализе множества отклонений **теряется информация** о степени важности различных измерений временного ряда, а также информация о специфичных расхождениях двух временных рядов друг относительно друга, предлагается дополнительно рассмотреть свойства пространства отклонений и провести адаптацию метода для учета этой информации: вводятся понятия **взвешенного выравнивания и многомерной функцией расстояния** на основе множества отклонений.

# Исследовательская работа

## Научная новизна

- Предложено обобщение метода динамического выравнивания временных рядов на случай множественного выравнивания пространственно-временных объектов.
- Предложен способ выравнивания непрерывных объектов.
- Предложен способ взвешенного выравнивания с вычислением значимости измерений временного ряда.
- Предложен способ выравнивания скрытых представлений.



# Исследовательская работа

## Теоретическая значимость

Работа в целом носит теоретический характер. Предложен метод множественного выравнивания пространственно-временных объектов.

Результаты позволяют оперировать концепцией выравнивания при расчете расстояния между объектами более сложной, нежели чем обычные временные ряды, структуры: пространственно-временные объекты.

Такой подход позволяет определить функцию расстояния между объектами пространственно-временной структуры и открыть возможность применения метрических методов для поставленной задачи.

# Исследовательская работа

## Практическая значимость

Предложенные в работе методы предназначены для построения точных, устойчивых и вычислительно простых моделей классификации, кластеризации временных рядов и поиска оптимальной подпоследовательности.

Методы предназначены для решения задач распознавания движений человека, поиска паттернов в медицинских временных рядах, классификации видеоряда и других задач. В работе приведены примеры использования предложенных методов для решения задач классификации движений человека по IMU-датчикам и поиска оптимальной подпоследовательности в EEG-сигналах.

# Достоверность и апробация

## Конференции

Динамическое выравнивание непрерывных временных рядов // Ломоносов 2016, 2016.

Динамическое выравнивание непрерывных временных рядов // ИОИ-11. 2016.

Continuous Time Series Alignment in Human Actions Recognition // AINL FRUCT 2016, 2016.

Построение интерпретируемых глубоких моделей в задаче социального ранжирования // Mathematical Methods for Pattern Recognition-18, 2017.

Weighted Dynamic Time Warping for optimal subsequence search // EAGE: Tyumen 2019, 2019.

# Достоверность и апробация

## Публикации

A. B. Гончаров, М. С. Попова, В. В. Стрижов, Метрическая классификация временных рядов с выравниванием относительно центроидов классов // Системы и средства информатики, 2015, том 25, выпуск 4, Сс. 52-64.

A. B. Гончаров, В. В. Стрижов, Метрическая классификация временных рядов со взвешенным выравниванием относительно центроидов классов // Информатика и ее применения, 2016, том 10, выпуск 2, Сс. 36-47.

A. V. Goncharov and V. V. Strijov, Continuous Time Series Alignment in Human Actions Recognition // Proceedings of the AINL Fruct 2016 Conference, 2016, Pp. 83-86

A. V. Goncharov and V. V. Strijov, Analysis of Dissimilarity Set Between Time Series // Computational Mathematics and Modeling, 2018, Vol. 29, Issue 3, Pp. 359-366.

A. B. Гончаров, В. В. Стрижов, Выравнивание декартовых произведений упорядоченных множеств // Информатика и ее применения, 2020, выпуск 1.

A. B. Гончаров, В. В. Стрижов, Динамическое выравнивание непрерывных временных рядов // Интеллектуализация Обработки Информации ИОИ-2016, 2016, Сс. 122-123

A. V. Goncharov, Weighted Dynamic Time Warping for optimal subsequence search // EAGE, Tyumen 2019, 2019.

A. B. Гончаров, Динамическое выравнивание непрерывных временных рядов // Ломоносов-2016, 2016.

A. B. Гончаров, В. В. Стрижов, Построение интерпретируемых глубоких моделей в задаче социального ранжирования // Математические методы распознавания образов: Тезисы докладов 18-й Всероссийской конференции с международным участием, 2017, Сс. 20-21.

Vasiliy Alekseev, Evgeny Egorov, Konstantin Vorontsov, Alexey Goncharov, Kaidar Nurumov, Timur Buldybayev TopicBank: Collection of coherent topics using multiple model training with their further use for topic model validation // 2021/9/1 Data & Knowledge Engineering

Tamaz Gadaev, Vladimir Dokholyan, Kirill Tushin, Artsem Salamatsin, Alexey Goncharov Convolutional Neural Network for Facies Classification and Oil Detection // 2020/11/16 Saint Petersburg 2020 European Association of Geoscientists & Engineers

Evgeny Egorov, Filipp Nikitin, Vasiliy Alekseev, Alexey Goncharov, Konstantin Vorontsov Topic Modelling for Extracting Behavioral Patterns from Transactions Data // 2019 International Conference on Artificial Intelligence: Applications and Innovations (IC-AIAI)

# Достоверность и апробация

## Личный вклад

### Личный вклад:

Результаты получены самостоятельно под научным руководством д.ф.-м.н. В. В. Стрижова.

Личный вклад автора в работах с соавторами заключается в следующем: в указанных выше работах сформулированы и получены теоретические результаты.

### Текущий статус диссертации:

Написано 90 страниц текста диссертации

Опубликовано 12 научно-исследовательских работ

# MIL Team

**Site** | <https://scholar.google.com/citations?user=umbRPRkAAAAJ&hl=en>

**Person** | Alex Goncharov

**E-mail** | [alex.goncharov@phystech.edu](mailto:alex.goncharov@phystech.edu)

**Phone** | +7 (915) 116 22 72

# Гончаров А.В. Диссертация

