

# Теоретическая обоснованность применения метрических методов классификации с использованием динамического выравнивания (DTW) к пространственно-временным объектам\*

И. О. Автор<sup>1</sup>, И. О. Соавтор<sup>2</sup>, И. О. Фамилия<sup>1,2</sup>  
author@site.ru; co-author@site.ru; co-author@site.ru

<sup>1</sup>Организация, адрес; <sup>2</sup>Организация, адрес

В работе исследуется корректность применения методов динамического выравнивания (DTW) и его модификаций к пространственно-временным рядам. При доказательстве, проверяют, что функция, порождаемая алгоритмом динамического выравнивания (DTW), является ядром, что обосновывает применение метрических методов классификации. Проверка того, является ли функция ядром осуществляется при помощи теоремы Мерсера, основная часть которой заключается в проверке матрицы попарных расстояний на неотрицательную определенность.

**Ключевые слова:** алгоритм динамического выравнивания (DTW); пространственно-временные ряды; ядро функции; теорема Мерсера; метод опорных векторов (SVM)

DOI: 10.21469/22233792

## 1 Введение

Функция расстояния между временными рядами может быть задана различными способами: Евклидово расстояние [5], метод динамического выравнивания временных рядов [3], [7], метод, основанный на нахождение наибольшей общей последовательности [10]. В [4] показано, что разность между значениями временного ряда, соответствующими различным временным отсчетам, не может рассматриваться в качестве описания расстояния между двумя объектами: эта мера расстояния чувствительна к шуму и локальным временным сдвигам. Для решения задачи предлагается использовать метод динамического выравнивания временных рядов (англ. Dynamic Time Warping) [6]. Как показано в [9], этот метод находит наилучшее соответствие между двумя временными рядами, если они нелинейно деформированы друг относительно друга – растянуты, сжаты или смещены вдоль оси времени. Метод DTW используется для определения сходства между ними и введения расстояния между двумя объектами.

На данный момент существуют теоретические обоснования применения DTW лишь для некоторых временных объектов, например, для дизартрического распознавания речи с разреженными обучающими данными [11]. В этой статье мы теоретически обоснуем его применение для пространственно-временных объектов. В первую очередь, это будет происходить на данных измерения активности мозга обезьян [1].

Алгоритм построения оптимальной разделяющей гиперплоскости – алгоритм линейной классификации [2]. В основе создания же нелинейного классификатора лежит замена

---

\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № №00-00-00000 и 00-00-00001.

скалярного произведения  $\langle x, x' \rangle$  на функцию ядра  $K(x, x')$ . Таким образом осуществляется переход в спрямляющее пространство (kernel trick), который позволяет построить нелинейные разделители. Если изначально выборка была линейно неразделимой, то при удачном выборе ядра можно избавиться от этой проблемы. Это позволяет применять линейные алгоритмы классификации (SVM) в случаях, когда выборка не разделяется линейно. Критерием функции ядра является теорема Мерсера [8],

## 2 Название раздела

Данный документ демонстрирует оформление статьи, подаваемой в электронную систему подачи статей <http://jmla.org/papers> для публикации в журнале «Машинное обучение и анализ данных». Более подробные инструкции по стилевому файлу `jmla.sty` и использованию издательской системы  $\text{\LaTeX}$  2<sub>ε</sub> находятся в документе `authors-guide.pdf`. Работу над статьёй удобно начинать с правки  $\text{\TeX}$ -файла данного документа.

Обращаем внимание, что данный документ должен быть сохранен в кодировке UTF-8 without BOM. Для смены кодировки рекомендуется пользоваться текстовыми редакторами Sublime Text или Notepad++.

### 2.1 Название параграфа

Разделы и параграфы, за исключением списков литературы, нумеруются.

## 3 Заключение

Желательно, чтобы этот раздел был, причём он не должен дословно повторять аннотацию. Обычно здесь отмечают, каких результатов удалось добиться, какие проблемы остались открытыми.

## Литература

- [1] <http://neurotycho.org/download>.
- [2] Kristin P. Bennett and Colin Campbell. Support vector machines: Hype or hallelujah? *SIGKDD Explorations*, 2(2):1–13, 2000.
- [3] Clifford J. Berndt D. J. Fusing dynamic time warping to find patterns in time series. In *Workshop on Knowledge Discovery in Databases*, pages 359–370, 1994.
- [4] Hui Ding, Goce Trajcevski, Peter Scheuermann, Xiaoyue Wang, and Eamonn J. Keogh. Querying and mining of time series data: experimental comparison of representations and distance measures. *PVLDB*, 1(2):1542–1552, 2008.
- [5] C. Faloutsos, M. Ranganathan, and Y. Manolopoulos. Fast subsequence matching in time-series databases. In *ACM SIGMOD Conference on the Management of Data*, pages 419–429, Minneapolis, USA, 1994.
- [6] Eamonn Keogh and M. Pazzani. Scaling up dynamic time warping to massive datasets. In *Proceedings 3rd European Conference on Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases*, pages 1–11, 1999.
- [7] Eamonn J. Keogh and Chotirat (Ann) Ratanamahatana. Exact indexing of dynamic time warping. *Knowl. Inf. Syst*, 7(3):358–386, 2005.
- [8] J. Mercer. Functions of positive and negative type and their connection with the theory of integral equations. *Philos. Trans. Royal Soc. (A)*, 83(559):69–70, November 1909.

- 65 [9] Chan P. Fastdtw Salvador S. Toward accurate dynamic time warping in linear time and space.  
66 In *Workshop on Mining Temporal and Sequential Data*, page 11, 2004.
- 67 [10] Michail Vlachos, Dimitrios Gunopulos, and George Kollios. Discovering similar multidimensional  
68 trajectories. In Rakesh Agrawal 0001 and Klaus R. Dittrich, editors, *ICDE*, pages 673–684. IEEE  
69 Computer Society, 2002.
- 70 [11] Vincent Wan and James Carmichael. Polynomial dynamic time warping kernel support vector  
71 machines for dysarthric speech recognition with sparse training data. In *INTERSPEECH*, pages  
72 3321–3324. ISCA, 2005.

Поступила в редакцию 01.01.2017