Построение метода динамического выравнивания многомерных временных рядов, устойчивого к локальным колебаниям сигнала.

Кулагин Петр Андреевич

Московский физико-технический институт

Консультанты: Г. И. Глеб Моргачев, А. В. Гончаров
Эксперт: Стрижов В. В.

8 мая 2020 г.

Цель работы — построение многомерного алгоритма выравнивания

Задача

Нахождение оптимального алгоритма, устойчивого к колебаниям сигнала при близком расположении датчиков.

Методы решения

Использование L2 расстояния между сигналами.

Использование расстояния DTW между сигналами.

Список литературы

1. *Parinya Sanguansat* Multiple Multidimensional Sequence Alignment Using Generali Dynamic Time Warping, 2020.
2. *Skutkova Helena, Vitek Martin, Babula Petr, Kizek Rene, Provaznik Ivo* Classificati of genomic signals using dynamic time warping, BMC Bioinformatics, 2007.
3. *ten Holt, Gineke and Reinders, Marcel and Hendriks, Emile* Multi-dimensional dynamic time warping for gesture recognition, Annual Conference of the Advanced School for Computing and Imaging, 2007
4. *Jörg P. Bachmann and Johann-Christoph Freytag* High Dimensional Time Series Generators. CoRR, 2018.

Постановка задачи

Классификация временных рядов

Рассматриваем множество временных рядов $\{X_i\}_{i=1}^n \in \mathbb{R}^k$ и метки классов $Y_i \in \{0, 1\}$
Требуется для $X \in \mathbb{R}^k$ предсказать класс.
Метод kNN. Используем функцию расстояния между 2 временными рядами $\rho(x, y)$ Ищем k ближайших к объекту x по метрике ρ.
Предсказание - самый частый класс.
accuracy $= \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$
Требуется найти $\rho = argmax(accuracy)$ в методе kNN.

Гипотеза порождения данных

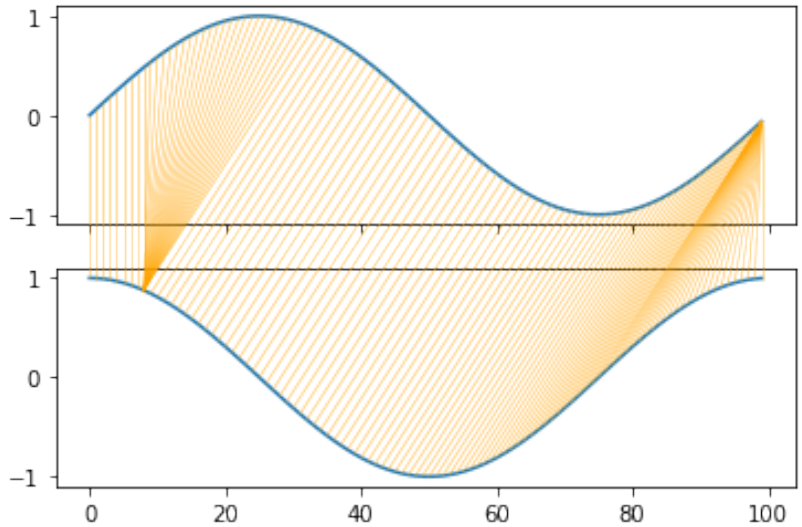
Выборка порождена K датчиками-измерителями.
Каждый датчик имеет определённое положение в пространстве и поэтому значения сигналов у каждого датчика имеют жёсткую привязку не только ко времени, но и к расположению датчика.

Алгоритм DTW

Временной ряд

Временной ряд - последовательность измерений, произведенных в определённые промежутки времени.
$\mathbf{X} = \{X_1, \ldots, X_n\}$ - временной ряд.
$X_i \in \mathbb{R}$ - одномерный временной ряд.
$X_i \in \mathbb{R}^K$ - многомерный временной ряд.

DTW - алгоритм, позволяющий посчитать расстояние между 2 временными рядами, устойчивый к сдвигам, растяжениям/сжатиям.



Алгоритм расстояния DTW

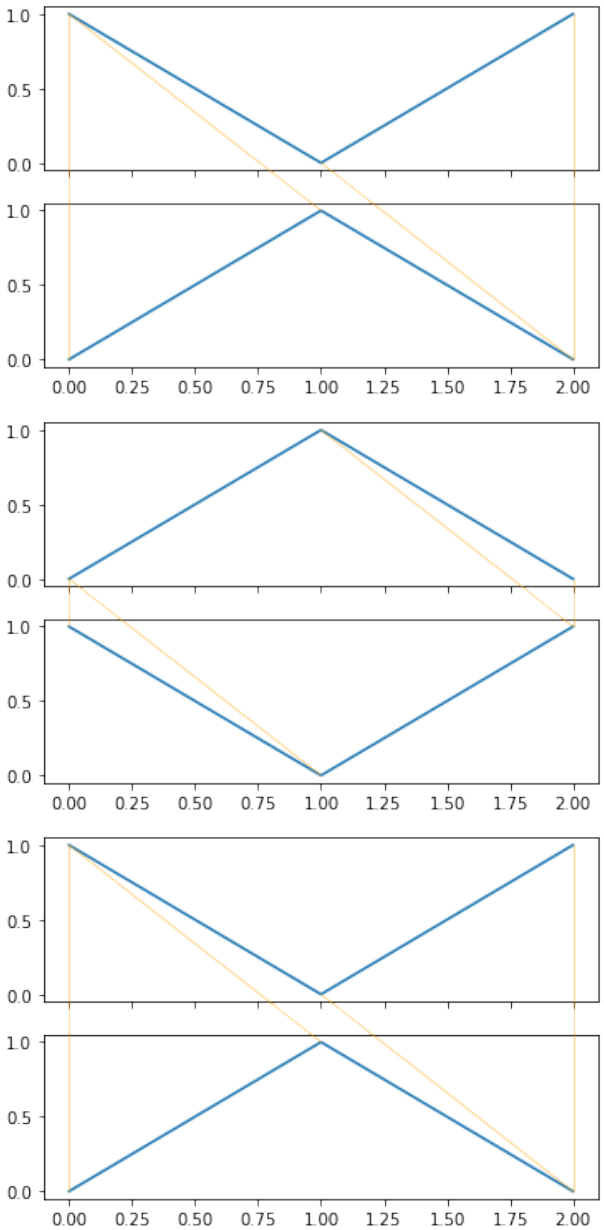
Определение

Рассмотрим два временных ряда Q и C разной длины: $Q = q_1, q_2, \ldots, q_i, \ldots, q_n$; $C = c_1, c_2, \ldots, c_j, \ldots, c_m$
Рассматриваем матрицу расстояний
1) $d_{ij} = \rho(q_i, c_j)$
2) Матрица трансформаций $D_{ij} = d_{ij} + min(D_{i-1j}, D_{i-1j-1}, D_{ij-1})$;
3) Выравнивающий путь: строим путь трансформации W – минимизирует общее расстояние между Q и C $W = w_1, w_2, \ldots, w_k, \ldots, w_K$, где $w_k = (i, j)_k$, $d(w_k) = (q_i c_j)$
4) $\rho_{DTW}(Q, C) = min \frac{\sum_{k=1}^{K} d(w_k)}{K}$

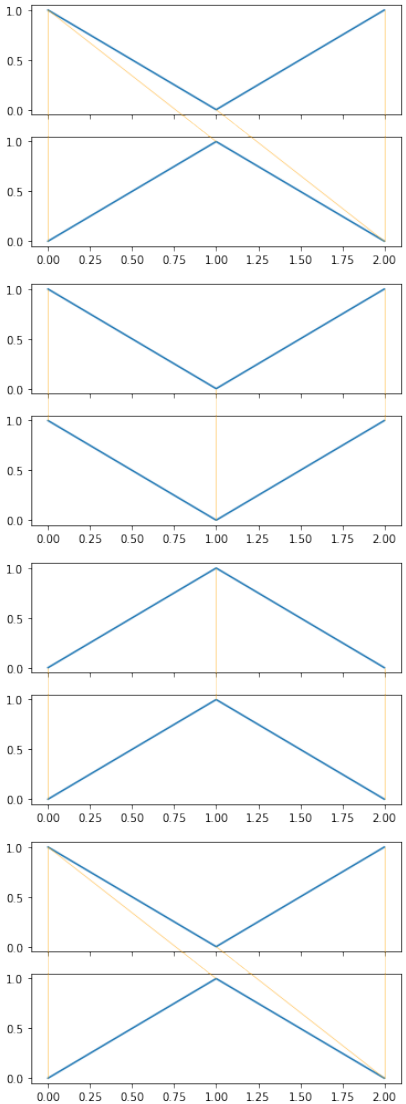
В случае многомерных временных рядов большое значение имеет расстояние между измерениями.

$L2(q, c) = \sum_{i=1}^{n} (q_i - c_i)^2$
$DTW(q, c) = DTW(q, c)$ с $\rho = (x - y)^2$

Пример выравнивания многомерных временных рядов с метрикой L2



Пример выравнивания многомерных временных рядов с метрикой DTW



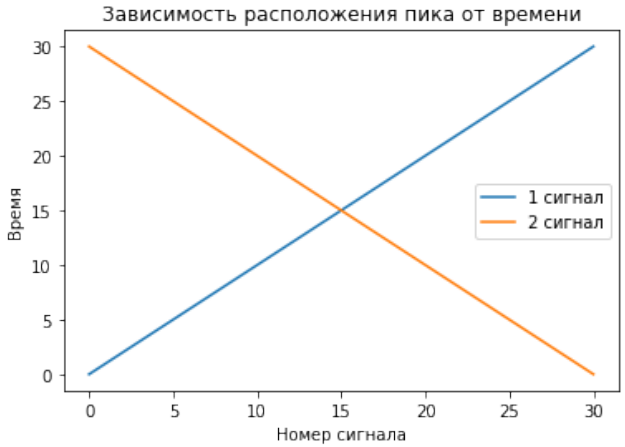
Базовый эксперимент

Цель базового эксперимента

Показать, что существуют случаи, когда DTW расстояние между сигналами показывает лучший результат, но зачастую работает медленнее, чем L2 расстояние.

Генерация временных рядов

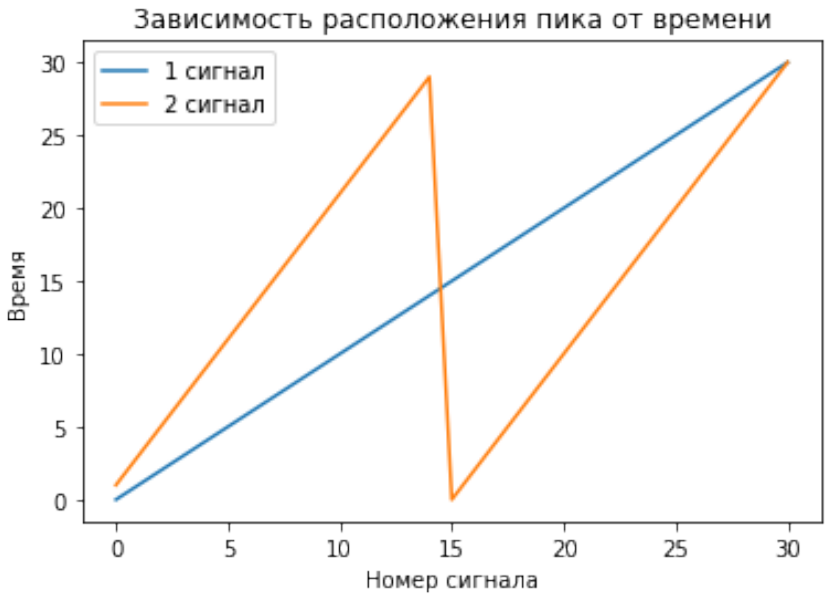
2 временных ряда, в которых сигнал "гуляет"в противоположных направлениях по датчикам.
Длина временного ряда - 30
DTW - 4
L2 - 60



Базовый эксперимент

Генерация временных рядов

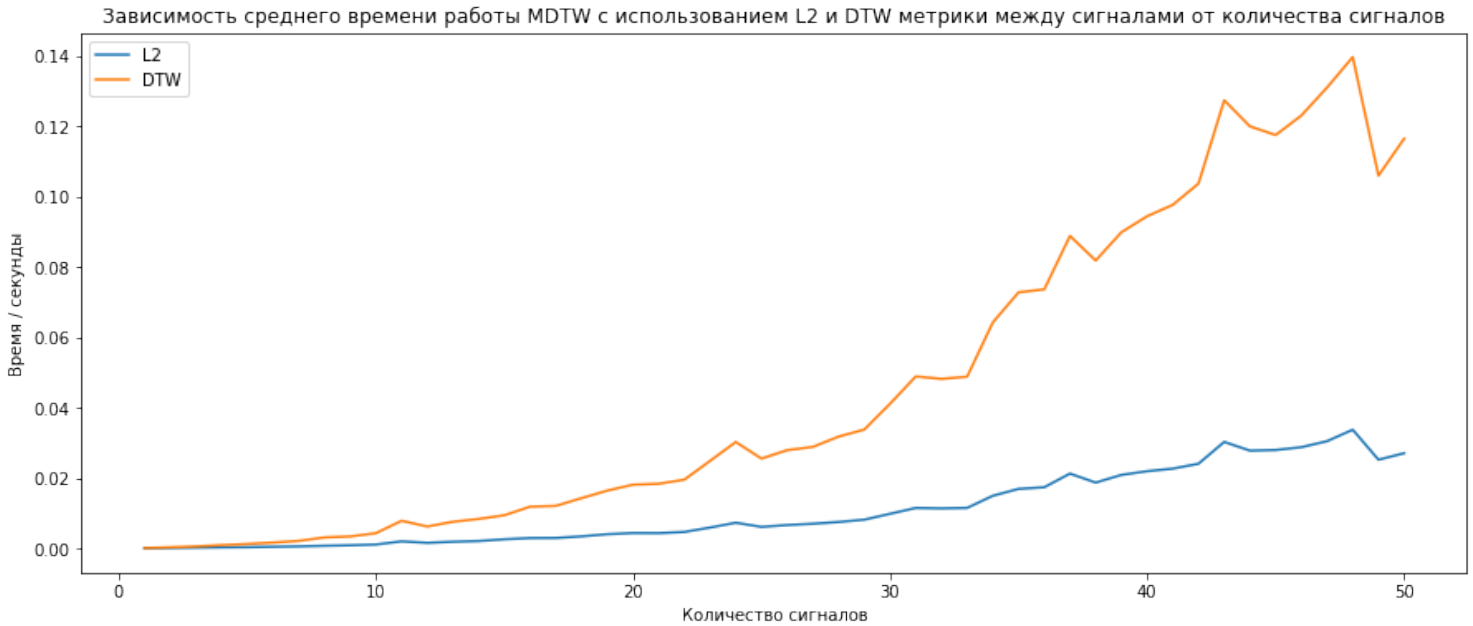
2 временных ряда, в котором одни датчики улавливают сигнал в 2 раза быстрее, например, стоят ближе к источнику.
Длина временного ряда - 30
DTW - 2
L2 - 60



Базовый эксперимент

Временной эксперимент

Подсчитаем среднее время работы DTW алгоритма с использованием L2 и DTW метрик.
Размерность сигнала: 3
Количество измерений: 50
Количество временных рядов: 20
Среднее время было посчитано 100 запусками на произвольной паре временных рядов.



Полученные результаты

Было продемонстрировано значение метрики DTW для поиска расстояний между сигналами в многомерном случае. Однако затрачиваемое время на порядок медленнее L2 алгоритма. Поэтому стоит использовать $L2$ или DTW в зависимости от задачи и временных ограничений.

Дальнейшие исследования

- К сожалению, загруженный датасет оказался не с очень хорошим качеством данных(по крайней мере несколько первых строк), поэтому оба классификатора выдавали accuracy $= 1$, что не позволяет корректно сравнивать 2 подхода. Нужно подробнее исследовать набор данных или найти новые.
- Найти конструкции построения датасета для классификации алгоритмически, когда классы, задаваемые DTW и L2 будут сильно различаться.