

Детекция зависимостей во временных рядах

Ильгам Магданович Латыпов

Московский физико-технический институт

Курс: Моя первая научная статья

Эксперт: В. В. Стрижов

Консультант: Э. Владимиров

11 апреля 2023 г.

Цели исследования

Задача: Детектирование причинно следственных взаимосвязей между временными рядами.

Проблема: Не существует методов которые точно выявляют факт причинно-следственной зависимости между временными рядами. А те которые существуют направлены на работу с одномерными временными рядами.

Цель: Разработать параметрический метод для решения поставленной задачи в многомерном случае.

Идея: Параметрический метод на основе метода сходящегося перекрестного отображения.

1. James M. McCracken and Robert S. Weigel. Convergent cross-mapping and pairwise asymmetric inference. Physical Review E, 90(6), dec 2014
2. В.В. Стрижов К.Р. Усманова. МОДЕЛИ ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ В ЗАДАЧАХ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ. «Системы и средства информатики», 2018
3. V. V. Strijov A. V. Grabovoy. Quasi-periodic time series clustering for human activity recognition.
<http://strijov.com/papers/Grabovoy2019QuasiPeriodicTimeSeries.pdf>, 2018.

Метод сходящегося перекрестного отображения

Траекторная матрица

$$\mathbf{H}_x = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_{L-1} & x_L \\ x_2 & x_3 & \dots & x_L & x_{L+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N-L+1} & x_{N-L+2} & \dots & x_{N-1} & x_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_L \\ \mathbf{x}_{L+1} \\ \dots \\ \mathbf{x}_N \end{pmatrix}$$

Отображение ϕ между траекторными пространствами: \mathbf{x}_t :

$$[\mathbf{x}_{t_1}, \mathbf{x}_{t_2}, \dots, \mathbf{x}_{t_k}]$$

$$\phi : x^0 \rightarrow \hat{y}^0 = \sum_{i=1}^k w_i y_{t_i}, \quad w_i = \frac{u^i}{\sum_i u_i}, \quad u_i = \exp\left(-\frac{\|x^0 - x^{t_i}\|_2}{\|x^0 - x^{t_k}\|_2}\right)$$

Метрика связанности временных рядов

$$Score_{X \rightarrow Y} Corr(\phi(\mathbf{x}), \mathbf{y})$$

Предлагаемый метод

Идея: Параметризуем способ построения траекторного пространства в методе сходящегося перекрестного отображения.

Нововведение: Для этого используется модель пространства состояний.

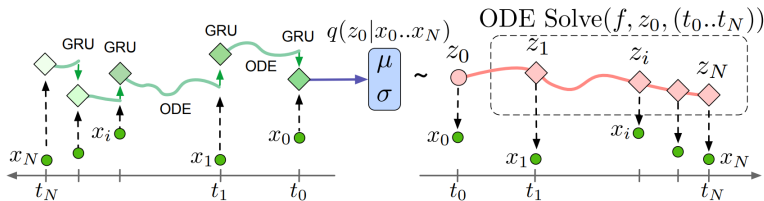
Как работает: Совместно с временным рядом рассматривается вектор скрытых состояний \mathbf{u} , который эволюционирует с исходной системой

$$\mathbf{u}_0 = f(\mathbf{x}_0)$$

$$\mathbf{u}_{k+1} = \psi(\mathbf{u}_k, \mathbf{x}_k)$$

Постановка: Рассмотрим в качестве ψ ГНС ODE-RNN¹

Траектории пары рядов в траекторном пространстве при применении разных методов

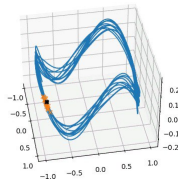
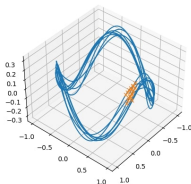


- Скрытые состояния GRU модуля используются в качестве скрытого представления ряда – переменных \mathbf{u}_k
- Процесс подбора параметров основан на обучении модели предсказывать ряд.

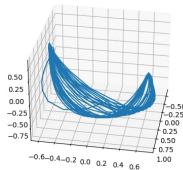
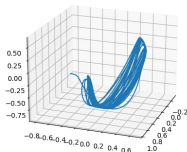
Результаты экспериментов

- Так как траектории скрытых состояний представляют собой периодическую структуру можем применять к ним метод сходящегося перекрестного отображения

ССМ

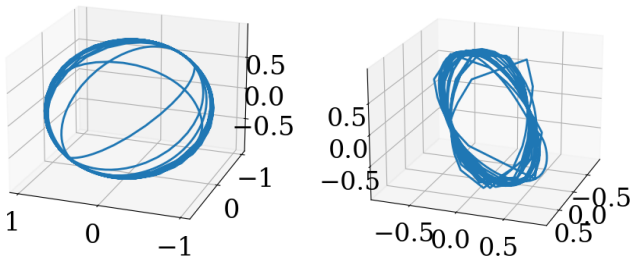


предлагаемый



Результаты экспериментов

- В отличие от ССМ, на основе которого строится метод, он может применяться к многомерным данным.



- Скрытые траектории трехмерных данных акселерометра

- ▶ Разработан метод для выявления зависимостей в многомерных временных рядах.
- ▶ Показано, что он может применяться к данным акселерометра.
- ▶ Границы применимости метода не исследованы.