

Восстановление траектории движения руки по видео

Владимиров Эдуард Анатольевич

Московский физико-технический институт

Курс: Моя первая научная статья

Эксперт: Р. В. Исаченко

Консультанты: А. Д. Курдюкова

2022

Восстановление траектории

Задача

Объединение методов канонического корреляционного анализа и метода Сугихары.

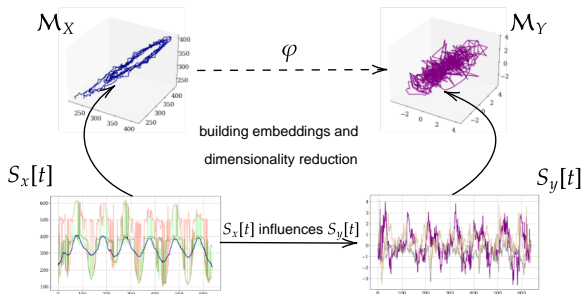
Проблема

Построение скрытого пространства по временному ряду и выбор функции согласования латентных проекций

Решение

Обучение автоэнкодеров и использование меры наличия причинно-следственной связи в функции согласования.

Методы понижения размерности и метод Сугихары



$$\begin{array}{ccc}
 X_{n \times m} & \xrightarrow{f} & Y_{n \times k} \\
 \left(\begin{array}{c} \uparrow \\ A \end{array} \right) & & \left(\begin{array}{c} \uparrow \\ B \end{array} \right) \\
 T_{n \times l} & \xleftrightarrow{\text{cov/corr}} & U_{n \times l}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 P^T \\
 Q^T
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 T &= XA, \quad X = TP^T \\
 U &= YB, \quad Y = UQ^T
 \end{aligned}$$

$$\varphi : x_{t_0} \mapsto \widehat{y}_{t_0} = \sum_i w_i y_{t_i}$$

1. Edward De Brouwer, Adam Arany, Jaak Simm, and Yves Moreau. Latent convergent cross mapping. In International Conference on Learning Representations, 2020
2. George Sugihara and Robert M May. Nonlinear forecasting as a way of distinguishing chaos from measurement error in time series. *Nature*, 344(6268):734–741, 1990.
3. Farukh Yur'evich Yaushev, Roman Vladimirovich Isachenko, and Vadim Strijov. Concordant models for latent space projections in forecasting. *Sistemy i Sredstva Informatiki [Systems and Means of Informatics]*, 31(1):4–16, 2021.

Метод Сугихары (CCM)

Траекторная матрица

$$\mathbf{H}_x = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_{n-N+1} \\ x_2 & x_3 & \dots & x_{n-N+2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_N & x_{N+1} & \dots & x_n \end{bmatrix} = [x^1, \dots, x^{n-N+1}]$$

Определение отображения φ между траекторными пространствами

$$\varphi : x^0 \mapsto \hat{z}^0 = \sum_{i=1}^k w_i z^{t_i}, \quad w_i = \frac{u_i}{\sum_{j=1}^k u_j}, \quad u_i = \exp(-\|x^0 - x^{t_i}\|).$$

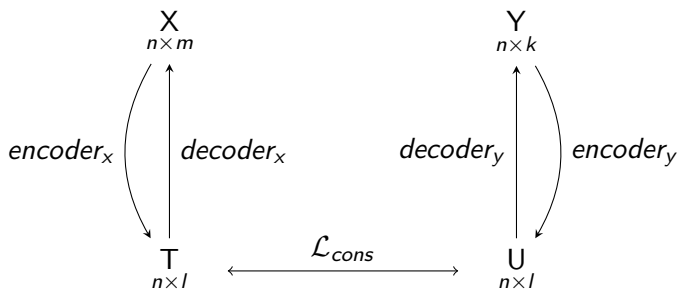
Метрика связанности временных рядов

$$Score_{X \rightarrow Z} = CCM_{full}(X, Z) - CCM_0(X, Z)$$

$$CCM_{full}(X, Z) = \text{Corr}(\varphi(x^{n-N+1}), x^{n-N+1})$$

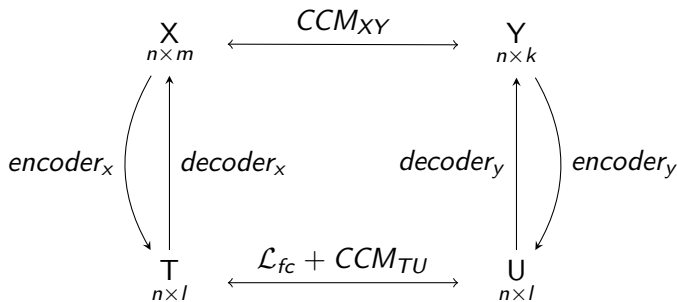
$$CCM_0(X, Z) = \text{Corr}(\varphi(x^0), x^0)$$

Deep PLS



Consistency: $\mathcal{L}_{cons}(T, U) = \exp(-tr(U_{centered}^T T_{centered}))$

Recovering: $\mathcal{L}_{recov}(X, \hat{X}) = ||X - \hat{X}||_2^2$



Feature consistency: $\mathcal{L}_{fc}(T, U) = \exp(-tr(U_{centered}^T T_{centered}))$

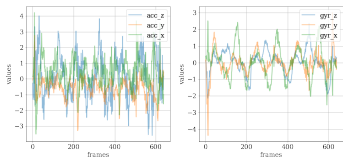
Object consistency: $\mathcal{L}_{oc}(X, Y, T, U) = (CCM_{XY} - CCM_{TU})^2$

Recovering: $\mathcal{L}_{recov}(X, \hat{X}) = \|X - \hat{X}\|_2^2$

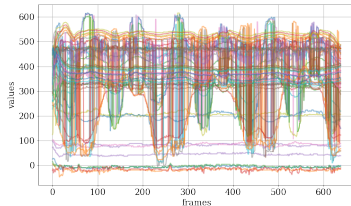
Вычислительный эксперимент

Цель

Сравнение различных стратегий снижения размерности целевого пространства.



Данные приборов



Данные видео-кейпоинтов

Анализ ошибки

Таблица: Сравнение ошибки предсказательной модели в траекторном пространстве и в его подпространстве

	acc_z	acc_y	acc_x	gyr_z	gyr_y	gyr_x
space	1.053 ± 2.223	0.401 ± 0.833	0.483 ± 0.825	0.084 ± 0.537	0.090 ± 0.094	0.063 ± 0.295
subspace	0.315 ± 0.461	0.043 ± 0.051	0.150 ± 0.177	0.001 ± 0.001	0.015 ± 0.031	0.001 ± 0.003

Таблица: Сравнение различных методов снижения размерности

Целевой признак \ Метод					
		CCM	PLS	CCA	Naive
cyclic	acc_z	0.163	0.040	0.116	0.141
	acc_y	0.009	0.007	0.011	0.008
	acc_x	0.044	0.045	0.089	0.049
	gyr_z	0.000	0.001	0.001	0.001
	gyr_y	0.002	0.004	0.005	0.003
	gyr_x	0.009	0.004	0.004	0.003
chaotic	acc_z	0.315	0.416	0.416	0.331
	acc_y	0.043	0.045	0.429	0.055
	acc_x	0.150	0.177	0.221	0.143
	gyr_z	0.001	0.002	0.003	0.003
	gyr_y	0.015	0.022	0.061	0.026
	gyr_x	0.001	0.013	0.015	0.008

Заключение

1. Предложен метод согласованного снижения размерности, объединяющий в себе методы PLS и Сугихары
2. Проведён вычислительный эксперимент на данных устройств и видеоряда
3. Получено, что использование данных из видео повышает качество прогнозирования
4. Показано, что прогностическая модель менее устойчива в случае, когда та применяется в траекторном пространстве