

Определение фазы и разладки движения по сигналам носимых устройств.

Курдюкова Антонина Дмитриевна

Московский физико-технический институт

Курс: Автоматизация научных исследований
(практика, В. В. Стрижов)/Группа 874

Эксперт: В. В. Стрижов

Консультант: Г. В. Кормаков

2021

Цель исследования

Задача

Определение начала и конца периодического движения человека по сигналам носимых устройств.

Проблема

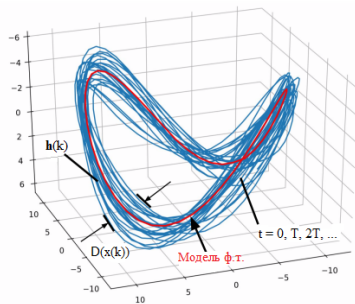
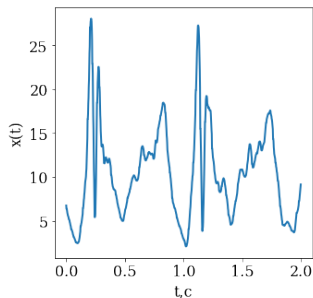
Наличие самопересечений фазовой траектории в исходном фазовом пространстве.

Решение

Переход в собственное пространство минимальной размерности, в котором фазовая траектория не имеет самопересечений с точностью до стандартного отклонения восстановленной траектории.

Временной ряд и его фазовая траектория.

- Временной ряд $X = \{x(i)\}_{i=1}^N$
- Траекторная матрица $\mathbf{H} = (\mathbf{x}_1 \ \dots \ \mathbf{x}_m)^T$
- Вектора \mathbf{x}_k образуют фазовую траекторию $\mathbf{h}(k) \in \mathbb{R}^n$
- Траекторное пространство $\mathbb{H} \subseteq \mathbb{R}^n$, натянуто на вектора \mathbf{x}_k
- Собственное пространство \mathbb{S}



Декомпозиция временного ряда методом главных компонент

- Траекторная матрица

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} x(1) & \dots & x(n) \\ x(2) & \dots & x(k+1) \\ \dots & \dots & \dots \\ x(N-n+1) & \dots & x(N) \end{pmatrix}$$

- Сингулярное разложение ковариационной матрицы \mathbf{H}

$$\frac{1}{\ell} \mathbf{H}^T \mathbf{H} = \mathbf{V} \mathbf{\Lambda} \mathbf{V}^T, \quad \mathbf{\Lambda} = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_\ell)$$

- Главные компоненты $\mathbf{y}_k = \mathbf{H} \mathbf{v}_k$

Задача

Требуется построить аппроксимацию фазовой траектории с помощью минимального числа главных компонент. Разбить фазовую траекторию на столько сегментов, сколько периодов содержится во временном ряде.

Переход в фазовое пространство минимальной размерности

- Выбранные главные компоненты $\mathbf{y}_1, \dots, \mathbf{y}_p$
- Восстановленная часть траекторной матрицы \mathbf{H}

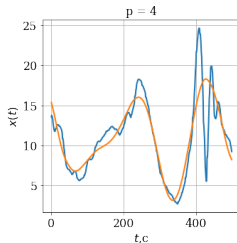
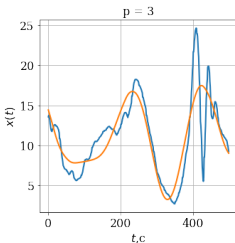
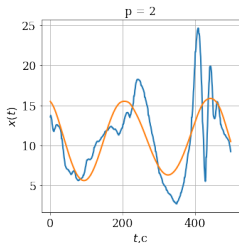
$$\tilde{\mathbf{H}} = \mathbf{H}_1 + \dots + \mathbf{H}_p, \quad \mathbf{H}_j = \sqrt{\lambda_j} \mathbf{v}_j \mathbf{y}_j^T.$$

- Временной ряд \tilde{X} восстанавливается из $\tilde{\mathbf{H}}$ с помощью антидиагонального усреднения.
- Критерий качества выбора оптимальной размерности пространства

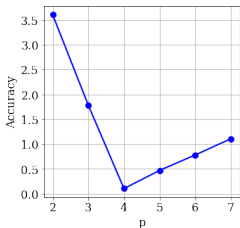
$$\text{MAPE} = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} 100 \frac{|\tilde{x}_i - x_i|}{|x_i|}$$

- Сложность модели $C = p$ – размерность собственного пространства

Вычислительный эксперимент

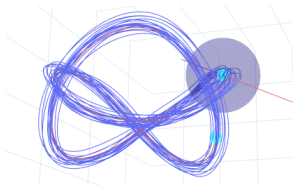


Исходный и восстановленный временной ряд в зависимости от количества выбранных компонент p

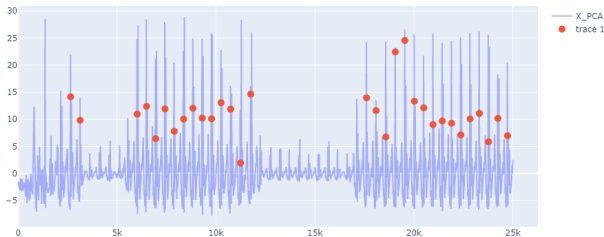


Зависимость ошибки восстановленного временного ряда от размерности фазового пространства.

Сечение фазовой траектории в пространстве оптимальной размерности



Поиск точек временного ряда одинаковой фазы. Результаты алгоритма сегментации.



- Проведен вычислительный эксперимент по определению оптимальной размерности фазового пространства
- Разработан алгоритм поиска точек временного ряда одинаковой фазы
- Проведено исследование качества сегментации в зависимости от размерности фазового пространства

Смежные работы в изучаемой области

1. Motrenko A., Strijov V. Extracting fundamental periods to segment biomedical signals //IEEE journal of biomedical and health informatics. – 2015. – Т. 20. – №. 6. – С. 1466-1476.
2. Ignatov A. D., Strijov V. V. Human activity recognition using quasiperiodic time series collected from a single tri-axial accelerometer //Multimedia tools and applications. – 2016. – Т. 75. – №. 12. – С. 7257-7270.
3. Grabovoy A. V., Strijov V. V. Quasi-Periodic Time Series Clustering for Human Activity Recognition //Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2020. – Т. 41. – №. 3. – С. 333-339.