

Определение фазы и разладки движения человека по сигналам носимых устройств

А. Д. Курдюкова, Г. В. Кормаков, В. В. Стрижов

kurdiukova.ad@phystech.edu; egor2898@mail.ru; strijov@ccas.ru

Данная работа посвящена определению фазы и разладки движения человека по сигналам носимых устройств. Исследуются классы периодического движения человека или животного нескольких типов. Требуется найти начало и конец движения, а также определить момент смены типа движения. С этой целью решается задача сегментирования временных рядов. Строится фазовая траектория движения и отыскивается фактическая размерность фазового пространства. Предлагается модель оценки фазы движения и определения начала сегмента. По повторению фазовой траектории сегментируются периодические действия человека, а по ее разладке определяется смена типа движения. Качество предлагаемого метода анализируется на временных рядах, считанных с трехосевого акселерометра.

Ключевые слова: *временные ряды, сегментация, метод главных компонент, фазовая траектория, траекторное пространство*

DOI:

1 Введение

Решается задача анализа данных, считываемых с носимых устройств. Результаты анализ этих данных используются в различных медицинских приложениях [1,2], в частности, при мониторинге состояния пациентов [3], для автоматизированного обнаружения падений пожилых людей [4].

Временные ряды движения человека или животного, измеренные акселерометром, имеют *квазипериоды*. Решается задача разбиения таких временных рядов на периодоподобные временные интервалы. Целью этой работы является определение начала и конца движения. Предлагается адекватная модель построения фазовой траектории. Рассматривается способ получения оценки минимальной размерности собственного пространства фазовой траектории. *Критерий отсутствия самопересечений*. Вводится понятие модели *фазовой траектории*. По повторению фазовой траектории сегментируются периодические действия человека. Предлагается способ извлечения устойчивой начальной фазы конкретного типа движения в собственном пространстве фазовой траектории.

В работе(ах) [5] [...] решается задача сегментирования *квазипериодических* временных рядов. *Совершается переход в собственное пространство фиксированной размерности,*

равной двум. Целью данной работы является переход в фазовое пространство минимальной размерности. Фазовая траектория не имеет самопересечений с точностью до стандартного отклонения восстановленной траектории.

2 Постановка задачи

Данные, считанные с трехосевого акселерометра, представляют собой временной ряд

$$X = \{x(i)\}_{i=1}^m. \quad (1)$$

Он соответствует фиксированному классу периодического движения $y \in \mathbb{Y}$ (ходьба, бег, шаги вверх и вниз по лестнице и т.п.).

Декомпозиция временного ряда методом главных компонент. Временной ряд (1) представлен в виде траекторного разложения, каждое слагаемое которого с высокой точностью аппроксимируется комбинацией главных компонент траекторной матрицы

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} x(1) & \dots & x(k) \\ x(2) & \dots & x(k+1) \\ \dots & \dots & \dots \\ x(l) & \dots & x(m) \end{pmatrix}.$$

Для нахождения аппроксимации выполняется сингулярное разложение ковариационной матрицы \mathbf{H}

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

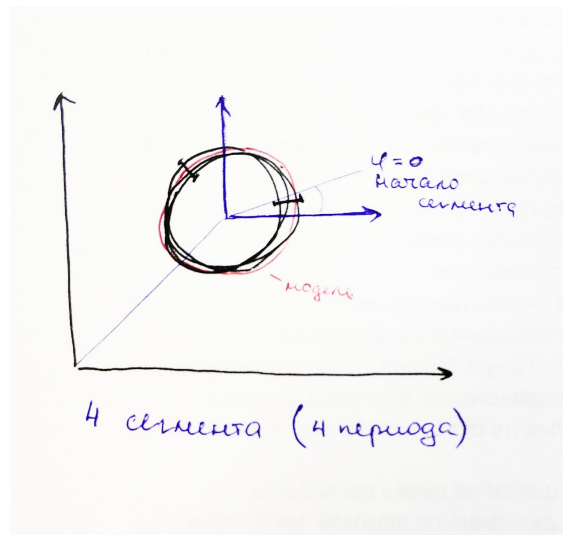
после чего определяются главные компоненты $\mathbf{y}_k = \mathbf{H} \mathbf{v}_k$ для соответствующих собственных значений $\mathbf{H}^T \mathbf{H}$.

В данной работе требуется построить модель $f \in \mathfrak{F}$, аппроксимирующую фазовую траекторию с помощью минимального числа главных компонент. Каждая модель аппроксимирует временной ряд заданного класса y . Критерием оптимальной размерности является отсутствие самопересечений фазовой траектории с точностью до стандартного отклонения восстановленной траектории. Требуется разбить фазовую траекторию на столько сегментов, сколько периодов содержится во временном ряде (1).

Критерий качества модели. Пусть $\mathbf{y}_1, \dots, \mathbf{y}_n$ – выбранные главные компоненты, аппроксимирующие фазовую траекторию. Тогда восстановленная часть траекторной матрицы \mathbf{H}

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

С помощью антидиагонального усреднения матрицы $\tilde{\mathbf{H}}$ восстанавливается временной ряд \tilde{X} . В качестве критерия качества модели используется функционал MAPE (средняя абсо-

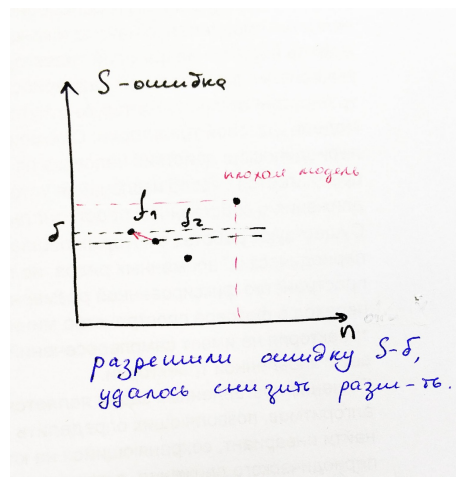


46 лютная процентная ошибка)

47

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

Сложностью модели является размерность фазового пространства.



48

49 3 Вычислительный эксперимент

50 В этом разделе исследуется зависимость средней абсолютной ошибки MAPE от размер-
 51 ности фазового пространства, из которого происходит воостановление временного ряда. В
 52 пространстве *оптимальной размерности* фазовая траектория разбивается на сегменты,
 53 соответствующие периодам рассматриваемого движения. Эксперименты проводятся на ре-
 54 альных данных, полученных с акселерометра мобильного устройства во время ходьбы.
 55 Соответствующий временной ряд изображен на рис. 1.

56 Разложение временного ряда с помощью метода главных компонент и его восстанов-
 57 ление описано в работе [5]. Количество выбранных главных компонент определяет раз-

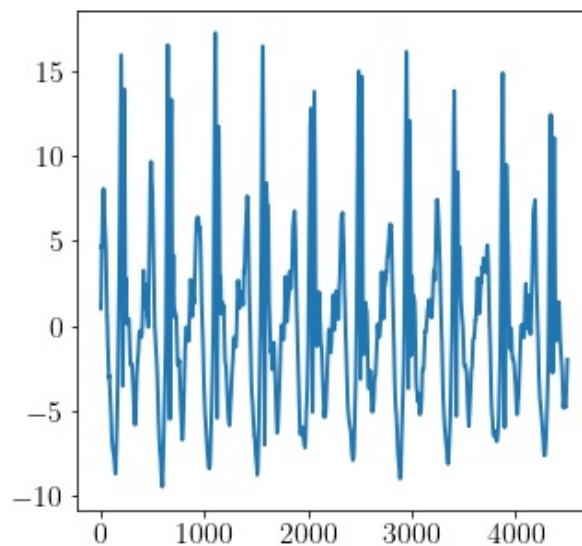


Рис. 1 Исследуемый временной ряд.

мерность фазового пространства. По соответствующим собственным векторам восстанавливается временной ряд. Анализ ошибки $MARE$ в зависимости от размерности фазового пространства позволяет определить оптимальную размерность пространства, в котором фазовая траектория не имеет ярко выраженных самопересечений. Процесс сегментирования фазовой траектории в пространстве меньшей размерности так же описан в [5].

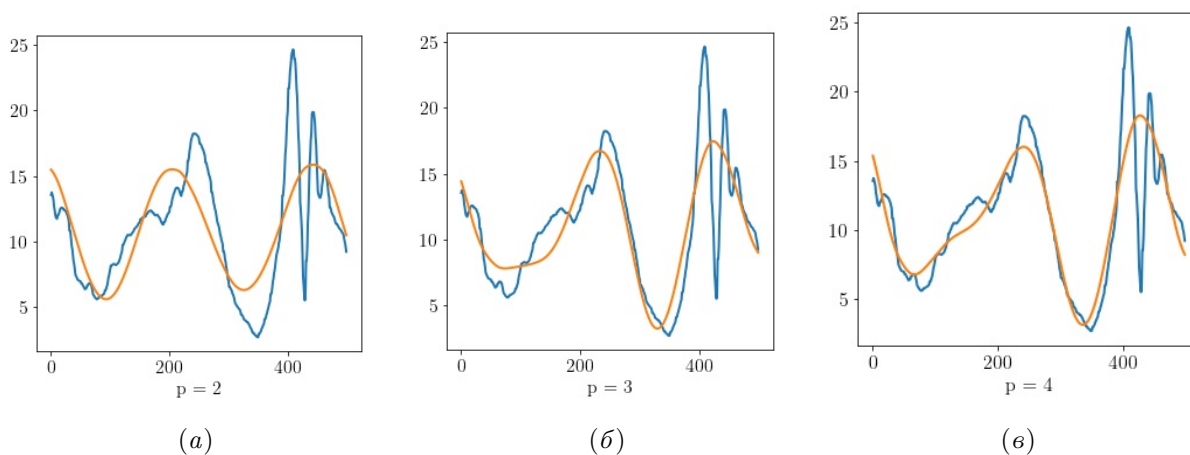


Рис. 2 Исходный временной ряд и его разложение для различных размерностей фазового пространства.

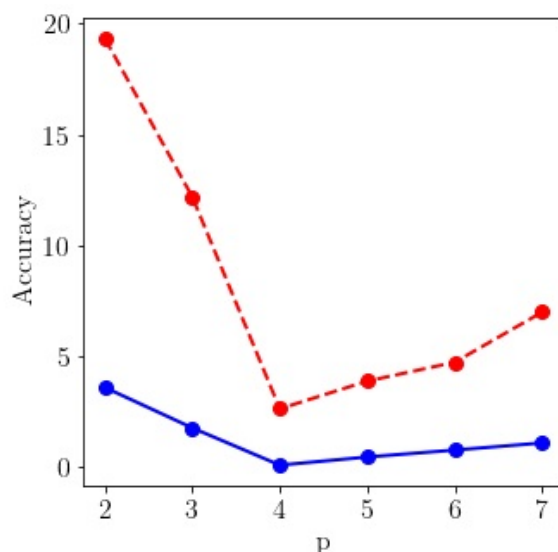


Рис. 3 График зависимости точности аппроксимации фазовой траектории от размерности фазового пространства.

4 Заключение

Первая часть заключения.

Вторая часть заключения. Решение поставленных задач является важным шагом на пути к разработке алгоритмов, позволяющих определить разладку движения по фазовой траектории, найти инвариант, сохраняющийся на классах эквивалентности конкретного типа периодического движения, а также распознать суперпозицию нескольких движений. Эти результаты крайне важны с точки зрения понимания и моделирования человека, биомедицинского применения и внесли бы значительный вклад в область анализа биосигналов.

Литература

- [1] JBJ Bussmann, YM Van de Laar, MP Neeleman, and HJ Stam. Ambulatory accelerometry to quantify motor behaviour in patients after failed back surgery: a validation study. *Pain*, 74(2-3):153–161, 1998.
- [2] Bijan Najafi, Kamiar Aminian, Anisoara Paraschiv-Ionescu, François Loew, Christophe J Bula, and Philippe Robert. Ambulatory system for human motion analysis using a kinematic sensor: monitoring of daily physical activity in the elderly. *IEEE Transactions on biomedical Engineering*, 50(6):711–723, 2003.
- [3] Agnes Grünerbl, Amir Muaremi, Venet Osmani, Gernot Bahle, Stefan Oehler, Gerhard Tröster, Oscar Mayora, Christian Haring, and Paul Lukowicz. Smartphone-based recognition of states and

state changes in bipolar disorder patients. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 19(1):140–148, 2014.

[4] Xin Ma, Haibo Wang, Bingxia Xue, Mingang Zhou, Bing Ji, and Yibin Li. Depth-based human fall detection via shape features and improved extreme learning machine. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 18(6):1915–1922, 2014.

[5] Anastasia Motrenko and Vadim Strijov. Extracting fundamental periods to segment biomedical signals. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 20(6):1466–1476, 2015.

Поступила в редакцию