

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗЫ ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО СИГНАЛАМ НОСИМЫХ УСТРОЙСТВ

Курдюкова Антонина Дмитриевна

Студент

*Физтех-школа прикладной математики и информатики МФТИ, Москва,
Россия*

E-mail: kurdiukova.ad@phystech.edu

Научный руководитель — Стрижов Вадим Викторович

Данная работа посвящена задаче восстановления фазы квазипериодического сигнала движения человека. То есть сигнала, имеющего повторяющиеся значения в данных, но не обладающего явной периодичностью. Данные собраны с трехосевого акселерометра

$$\{s_i\}_{i=1}^N, \quad s_i = \sqrt{a_{ix}^2 + a_{iy}^2 + a_{iz}^2} \quad s_i \in \mathbb{R}^1. \quad (1)$$

В работе предлагается алгоритм определения фазы, который основан на представлении исходного временного ряда в фазовом пространстве. Переход в фазовое пространство осуществляется с помощью построения ганкелевой матрицы

$$\mathbf{H} = [\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \dots, \mathbf{s}_k], \quad \mathbf{s}_j = (s_j, \dots, s_{j+n})^T, \quad k = N - n + 1 \quad (2)$$

где n – ширина окна.

Размерность исходного фазового пространства избыточна. Требуется построить модель, аппроксимирующую фазовую траекторию с помощью минимального числа главных компонент. С помощью аппроксимирующей модели определить оптимальную размерность фазового подпространства \mathbf{X} .

В качестве аппроксимирующей модели математического ожидания фазовой траектории $E(\mathbf{x}|\varphi) : \varphi \rightarrow \mathbf{x}$ предлагается регрессии Надарая-Ватсона. Аналогично предлагается ввести и модель дисперсии $D(\mathbf{x}|\varphi)$.

В найденном пространстве оптимальной размерности строится алгоритм восстановления фазы временного ряда.

Оптимальная размерность пространства - это размерность пространства, в которой выполняется критерий отсутствия самопересечений. Самопересечением фазовой траектории - это наличие близких по дисперсии точек в фазовом пространстве при существенно разных значениях фаз.

Значения фазы называются существенно разными, если их разность превосходит $\frac{\pi}{2}$.

Основная идея алгоритма базируется на трех предположениях:

1. Во временном ряду (1) присутствует только один фиксированный класс движений;
2. Более поздним по времени точкам соответствует большая фаза. Если $t \geq t'$, то $\varphi_t \geq \varphi_{t'}$ для $t, t' \in [0, +\infty)$;
3. Фазы соседних точек близки. Если $\|\mathbf{x} - \mathbf{x}'\|_2 \leq \varepsilon$ (ε – гиперпараметр), то $\|\varphi - \varphi'\| \leq \delta$ для некоторого δ .

Для выбора значения фазы введем функцию потерь из трех слагаемых.

Первая часть функции потерь L_1 опирается на второе предположение. Она штрафует за уменьшение значения фазы. Вторая часть функции потерь L_2 опирается на третье предположение. Она учитывает увеличение суммарной разницы в значениях фазы для соседствующих точек фазовом пространстве. Третья часть L_3 учитывает расстояние от текущей точки до точек аппроксимирующей модели. Таким образом, задача нахождения фазы для текущей точки \mathbf{x}_i имеет вид

$$\hat{\varphi}_i = \arg \min_{\varphi \in \Phi_i} \lambda_1 \cdot L_1(\varphi) + \lambda_2 \cdot L_2(\varphi) + \lambda_3 \cdot L_3(\varphi). \quad (3)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ - весовые коэффициенты такие, что $\sum_{i=1}^3 \lambda_i = 1$.

В таблице 1 представлены результаты работы алгоритма для случаев ходьбы и велопрогулки. В данной работе также исследуются другие классы движения человека, пробуются различные варианты функции потерь, проводится сравнение с другими существующими методами.

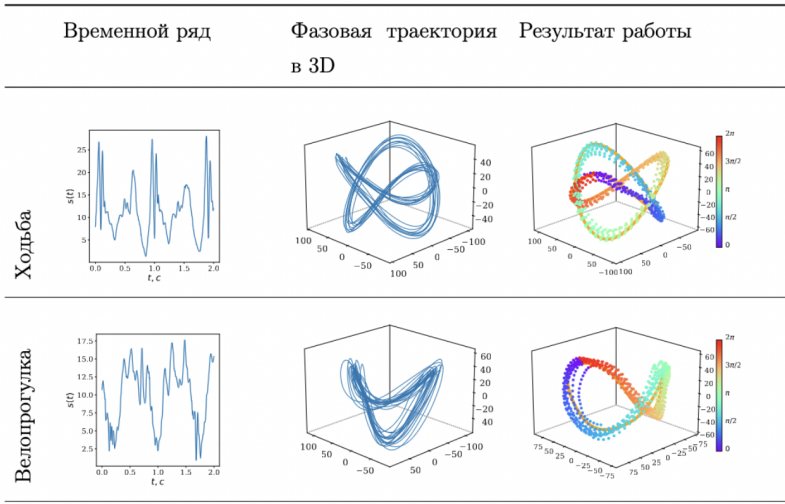


Таблица 1 Результаты работы алгоритма для ходьбы и велопогулки

Рис. 1

Литература

1. Jatesiktat P. et al. Unsupervised phase learning and extraction from quasiperiodic multidimensional time-series data//Applied Soft Computing, 2020.
2. Motrenko A., Strijov V. Extracting fundamental periods to segment biomedical signals// IEEE journal of biomedical and health informatics, 2015.