

# Классификация суперпозиций движений физической активности

Александр Денисович Проскурин  
Евгений Александрович Белых

Московский физико-технический институт

Курс: Численные методы обучения по прецедентам  
(практика, В. В. Стрижов)/Группа 594, весна 2018

## Цель исследования

Найти способ распознать сложные движения человека, являющиеся суперпозицией более простых движений, используя данные акселерометра телефона.

## Проблема

Данные являются непериодическими временными рядами, поэтому одной из задач является поиск способа описания временного ряда, а также способа выравнивания рядов друг относительно друга.

## Новизна

Предлагается рассматривать движение как суперпозицию действий, а не однородный процесс.

- *Карасиков М.Е., Стрижов В.В.* Классификация временных рядов в пространстве параметров порождающих моделей // Информатика и ее применения, 2016
- *Кузнецов М.П., Ивкин Н.П.* Алгоритм классификации временных рядов акселерометра по комбинированному признаковому описанию // Машинное обучение и анализ данных, 2015
- *Фадеев И.В.* Выбор иерархических моделей в авторегрессионном прогнозировании // Магистерская диссертация, 2013, Московский физико-технический институт
- *Гончаров А.В.* Метрическая классификация временных рядов со взвешенным выравниванием относительно центроидов классов // 2015, Московский физико-технический институт

# Постановка задачи

Пусть  $D(X, Y)$  — это обучающая выборка, где  $(X, \rho)$  образует метрическое пространство временных рядов,  $Y$  — это метки временных рядов.

Пусть  $F$  — это функция построения множества признаков временного ряда:

$$F : X \rightarrow \mathbb{R}^n$$

Пусть  $G$  — многоклассовый классификатор, который переводит признаки в метки:

$$G : \mathbb{R}^n \rightarrow Y$$

Итоговый алгоритм — это композиция некоторого  $G$  и  $F$ :

$$a = G \circ F$$

Пусть задана некоторая функция потерь  $L : X \times Y \times Y \rightarrow \mathbb{R}$ , тогда функционал качества имеет вид:

$$Q(a, D) = \frac{1}{|D|} \sum_{(x,y) \in D} L(x, a(x), y).$$

Предлагается в качестве функции потерь использовать индикатор:

$$Q(a, D) = \frac{1}{|D|} \sum_{(x,y) \in D} I(a(x) \neq y)$$

В методе обучения будем сначала фиксировать  $F$ , а после оптимизировать функцию  $G$ , тогда наш оптимальный алгоритм принимает следующий вид  $a_F = \hat{G} \circ F$ , где

$$\hat{G} = \operatorname{argmin}_G (Q(G \circ F, D))$$

Чтобы оценить эффективность метода обучения, мы будем разбивать нашу выборку  $r$  раз на тестовую и тренировочную ( $D = A_1 \cup B_1 = A_2 \cup B_2 = \dots = A_r \cup B_r$ ), в таком случае наш критерий качества  $a_F$  будет:

$$QV(a_F, D) = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r Q(a_F(A_i), B_i)$$

Итоговая цель — найти

$$\hat{a} = \operatorname{argmin}_F(QV(a_F, D))$$

Для начала проведем базовый вычислительный эксперимент. Используем несколько известных методов, их модификации и готовый датасет для тестирования.

Рассмотрим параметрическую модель, которая будет приближать реальные значения нашего временного ряда:

$$g(w, X) \rightarrow X, \text{ где } w \in \mathbb{R}^n.$$

В качестве параметрической модели рассмотрим:

- Авторегрессионную модель  $AR(p)$ :

Пусть  $x = [x_1, x_2, \dots, x_t]$  — временной ряд, где  $x_i \in \mathbb{R}$ . Тогда

$$g(w, x) = [\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_t],$$

$$\text{где } \hat{x}_k = \begin{cases} x_k, & k = 1, \dots, p, \\ w_0 + \sum_{i=1}^p w_i \cdot x_{k-i}, & k = p+1, \dots, t. \end{cases}$$

- Преобразование Фурье



Для завершения построения алгоритма классификации временных рядов, необходимо построить классификатор  $G$  по обучающей выборке  $\{(F(x), y) \mid (x, y) \in D\}$ .

В качестве классификатора используем следующие модели:

- KNN
- Random forest
- Logistic regression

В базовом вычислительном эксперименте предполагается использовать следующие данные:

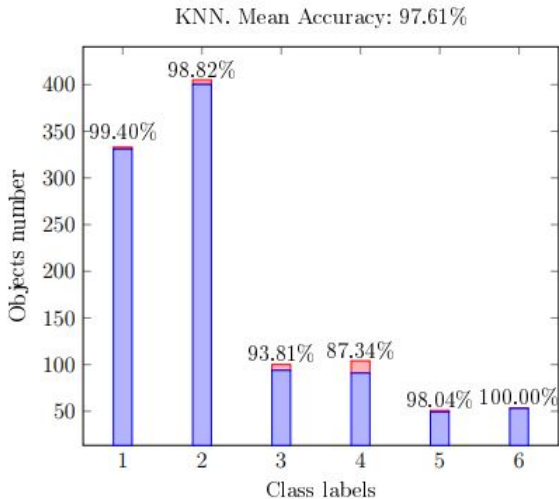
- Датасет WISDM для базового вычислительного эксперимента

Датасет WISDM содержит показания акселерометра для шести видов человеческой активности:

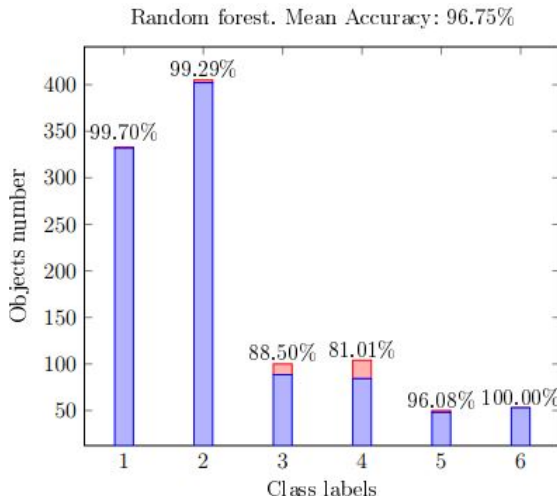
- 1 Jogging
- 2 Walking
- 3 Upstairs
- 4 Downstairs
- 5 Sitting
- 6 Standing

Необработанные данные, представляющие из себя последовательность размеченных показаний акселерометра, были разбиты на временные ряды длиной по 200 отсчетов (10 секунд).

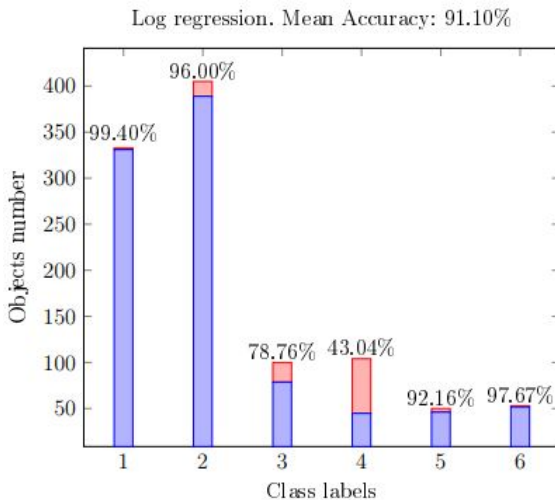
Результаты при использовании классификатора KNN:



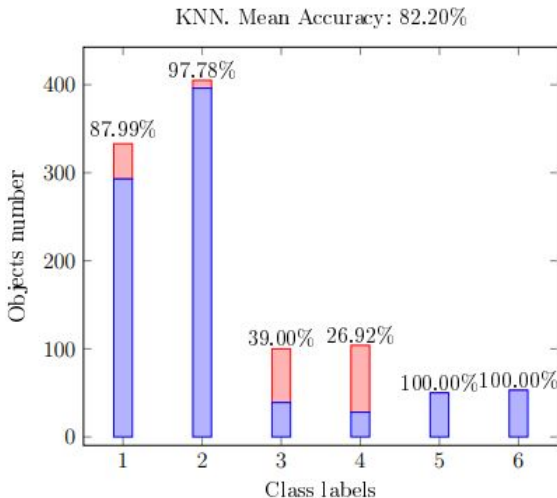
Результаты при использовании классификатора Random forest:



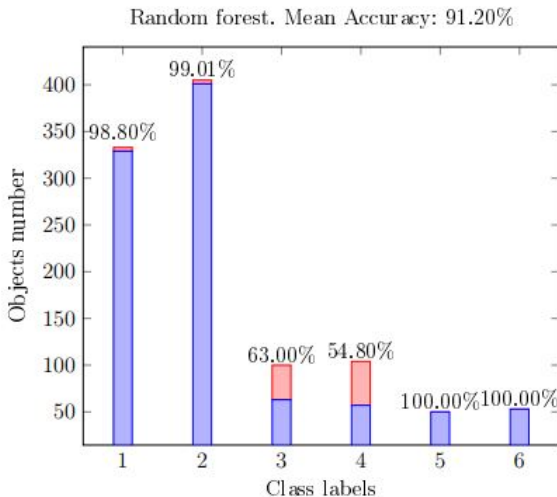
Результаты при использовании классификатора Logistic regression:



Результаты при использовании классификатора KNN:

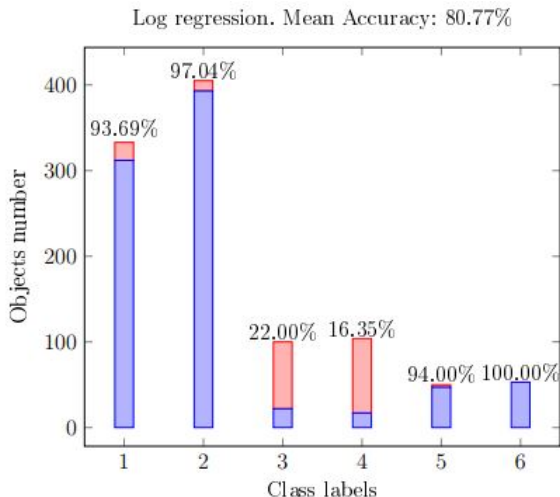


Результаты при использовании классификатора Random forest:



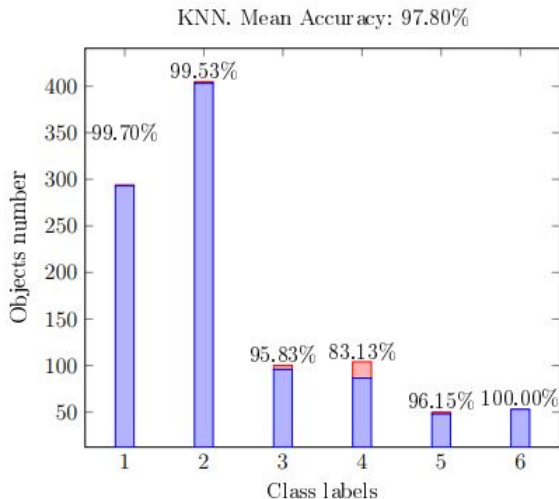


Результаты при использовании классификатора Logistic regression:



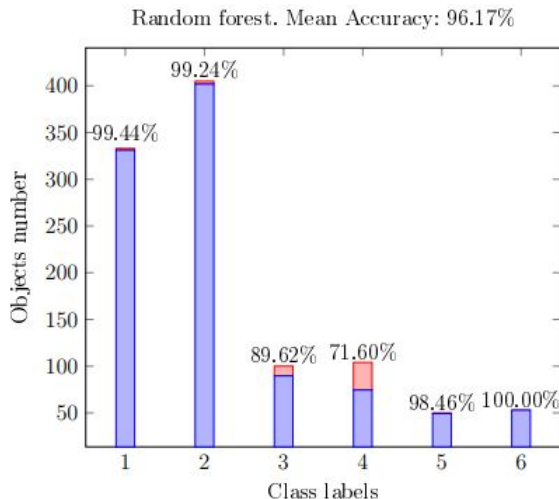
# Комбинирование линейного преобразования рядов и модели авторегрессии

Результаты при использовании классификатора KNN:



# Комбинирование линейного преобразования рядов и модели авторегрессии

Результаты при использовании классификатора Random forest:



Как видно, все методы показывают хорошие результаты. В то же время, наилучшие результаты показывает модель комбинирования преобразования рядов и авторегрессии. При этом, среди классификаторов наилучшие результаты показывает KNN. Также можно заметить, что наихудшие результаты алгоритмы показывают для классов «Upstairs» и «Downstairs». Кроме того, все алгоритмы можно улучшать с помощью, например, добавления дополнительных признаков или перебора параметров классификаторов.

Модель **SEMOR** решает задачу аппроксимации отнормированного временного ряда  $Z$  временным рядом  $x$ . Для этого производится сдвиг и растяжение ряда  $x$ :

$$\hat{x}(t) = x(\omega_1 * t + \omega_2).$$

Задача заключается в поиске таких коэффициентов  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$  и  $\omega_4$ , что величина

$$\|Z - (\omega_3 * x(\omega_1 * t + \omega_2) + \omega_4)\|$$

минимизируется.

# Модель локальной аппроксимации SEMOR для двух рядов

Пусть  $Z$  — отнормированный ряд, который необходимо классифицировать.

$\{G_1, G_2, \dots, G_n\}$  и  $\{H_1, H_2, \dots, H_m\}$  — два множества отнормированных рядов.

Ряд  $Z$  нужно аппроксимировать суперпозицией некоторой пары рядов  $G_i$  и  $H_j$ .

Суперпозицией преобразованных рядов является их сумма, которая также преобразована с помощью сдвига и растяжения:

$$Q = \omega_5 * (G_i(\omega_1 * t + \omega_2) + H_j(\omega_3 * t + \omega_4)) + \omega_6$$

Таким образом, необходимо найти:

$$\operatorname{argmin}_{(i,j)} ||Q - Z||,$$

где все  $\omega$  в  $Q$  выбраны так, что они минимизируют значение функции.

Пусть  $G$  и  $H$  — временные ряды из  $\mathbb{R}^n$  и  $\mathbb{R}^m$ .

Пусть  $\Omega^{nm}$  — матрица, такая что  $\Omega_{ij} = (G_i - H_j)^2$ .

Путем будем называть последовательность пар индексов  $\Omega$ :

$$\pi = \{\pi_r\} = \{(i_r, j_r)\}.$$

Стоимость пути  $\pi$ :  $Cost(G, H, \pi) = \sum_{(i,j) \in \pi} \Omega_{ij}$ .

Тогда задача поиска кратчайшего пути заключается в поиске пути:

$$\hat{\pi} = \operatorname{argmin}_{\pi} Cost(G, H, \pi)$$

а точнее его величины  $\rho(G, H) = Cost(G, H, \hat{\pi})$ .

Построим новую матрицу  $\Gamma^{nm}$  следующим образом:

$$\begin{aligned}\Gamma_{1j} &= \Omega_{1j}, \Gamma_{i1} = \Omega_{i1}, i \in \{1, \dots, n\}, j \in \{1, \dots, m\}. \\ \Gamma_{ij} &= \Omega_{ij} + \min(\Gamma_{i-1,j}, \Gamma_{i,j-1}, \Gamma_{i-1,j-1})\end{aligned}$$

Функцией расстояния между рядами  $G$  и  $H$  будем считать стоимость пути между ними:

$$\rho(G, H) = \Gamma_{nm}$$

.



# Путь наименьшей стоимости между рядами DTW для двух рядов

Пусть есть ряды  $G$  из  $\mathbb{R}^n$ ,  $H$  из  $\mathbb{R}^m$ ,  $Z$  из  $\mathbb{R}^t$ .

Пусть, как и в случае с двумя рядами, есть матрица расстояний  $\Omega^{nmt}$ , где  $\Omega_{ijk} = (G_i - H_j - Z_k)^2$ .

Определим путь как последовательность троек индексов  $\Omega$ :

$$\pi = \{\pi_r\} = \{(i_r, j_r, k_r)\}.$$

Стоимость пути  $\pi$ :  $Cost(G, H, Z, \pi) = \sum_{(i,j,k) \in \pi} \Omega_{ijk}$ .

Тогда задача заключается в поиске пути

$$\hat{\pi} = \operatorname{argmin}_{\pi} Cost(G, H, Z, \pi)$$

а точнее его величины

$$\rho(G, H, Z) = Cost(G, H, Z, \hat{\pi})$$

.

# Путь наименьшей стоимости между рядами DTW для двух рядов

Построим новую матрицу  $\Gamma^{nmt}$ , элементы которой определим следующим образом:

$$\Gamma_{1j1} = \Omega_{1j1}, \Gamma_{i11} = \Omega_{i11}, \Gamma_{11k} = \Omega_{11k}$$

$$i \in \{1, \dots, n\}, j \in \{1, \dots, m\}, k \in \{1, \dots, t\}$$

$$\Gamma_{ijk} = \Omega_{ijk} + \min(\Gamma_{i-1,j,k}, \Gamma_{i,j-1,k}, \Gamma_{i,j,k-1}, \Gamma_{i-1,j-1,k}, \Gamma_{i-1,j,k-1}, \Gamma_{i,j-1,k-1}, \Gamma_{i-1,j-1,k-1})$$

В таком случае в качестве значения функции расстояния между рядами  $G$ ,  $H$  и  $Z$  будем считать стоимость пути между ними:

$$\rho(G, H, Z) = \Gamma_{nmt}.$$

Пусть  $Z$  — ортонормированный ряд, который необходимо классифицировать.

Пусть  $\{G_1, G_2, \dots, G_n\}$  и  $\{H_1, H_2, \dots, H_m\}$  — два множества ортонормированных рядов, причем  $Z$  является суперпозицией некоторой пары рядов  $G_i$  и  $H_j$ .

Будем перебирать пары рядов из множеств  $\{G_i\}$  и  $\{H_j\}$ .

Для каждой фиксированной пары  $(G_i, H_j)$  и ряда  $Z$  построим матрицу  $\Gamma$  методом **DTW**.

Пусть кратчайший путь по матрице  $\Gamma$  — это  $\hat{\pi}$ .

Составим новые ряды  $\hat{G}$ ,  $\hat{H}$ ,  $\hat{Z}$ , где  $\hat{G} = \{G_i\}$  по  $i \in \hat{\pi}$ ,  $\hat{H} = \{H_j\}$  по  $j \in \hat{\pi}$ ,  $\hat{Z} = \{Z_k\}$  по  $k \in \hat{\pi}$ .

С помощью линейной регрессии построим:

$$\hat{Q} = \omega_5 * (\hat{G} + \hat{H}) + \omega_6$$

В конечном итоге нужно выбрать такую пару  $G_i$  и  $H_j$ , для которой будет минимальным значение величины:

$$\|\hat{Q} - Z\|$$

Для проверки качества построенного алгоритма, протестируем его на искусственных данных.

Сгенерируем два случайных ряда  $A$  и  $B$ . Возьмем множества рядов:

- $A_1 = A/8$
- $A_2 = \sin(A)$
- $A_3 = \log(A)$
- $A_4 = \exp(A/10)$
- $B_1 = \cos(B)$
- $B_2 = \sin(\log(B))$
- $B_3 = \sin(B * 2)$
- $B_4 = 2 * \operatorname{tg}(B/5)$

В качестве рядов для классификации  $Z$  будем рассматривать суммы рядов  $A_i$  и  $B_j$ . Сгенерировав эти суммы, запустим построенный алгоритм на них.

Качество работы итогового алгоритма на искусственных данных:

$A \setminus B$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
$A_1$	100%	100%	90%	60%
$A_2$	100%	80%	100%	40%
$A_3$	90%	90%	80%	60%
$A_4$	80%	100%	50%	100%

В среднем качество работы: 82.5%

В работе была рассмотрена задача классификации видов физической активности человека. Был проведен вычислительный эксперимент с базовыми алгоритмами и их модификациями, который показал очень хорошие результаты. Был также предложен метод классификации суперпозиции временных рядов с помощью комбинации модели **SEMOR** и алгоритма **DTW**.

Построенный алгоритм показал хорошие результаты на искусственных данных. Ожидается, что такие же хорошие результаты будут показаны и на реальных временных рядах, описывающих физическую активность человека, что в перспективе может привести к построению алгоритма лучшего, чем базовый.