



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«МИРЭА – Российский технологический университет»

РТУ МИРЭА

---

---

Институт Информационных Технологий

Кафедра Прикладной математики

---

---

## НАУЧНО ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Тема:

### **Распознавание движений человека с помощью акселерометров и методов машинного обучения**

- Студент: Авхименко Георгий Максимович
- Группа: ИМБО-02-18
- Руководитель: д. ф.-м. н., профессор Кузьмин Виктор Иванович

Москва 2021

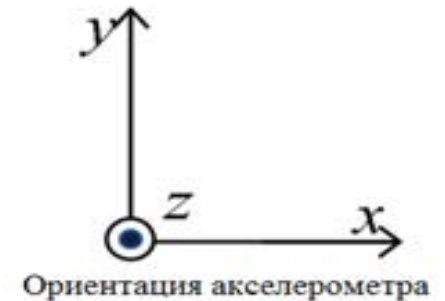
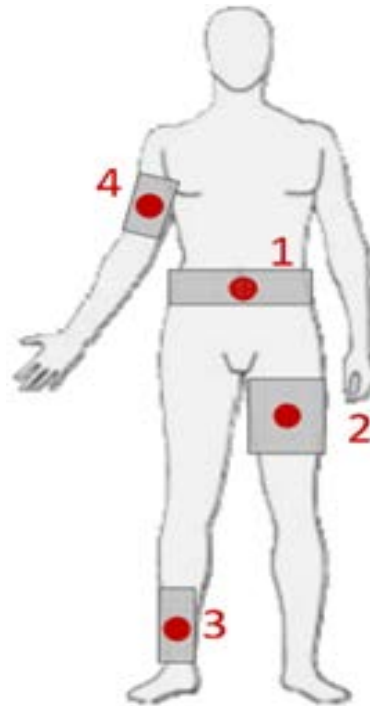
# Постановка задачи

Использованный в проекте набор данных был создан группой исследователей из университета Рио-де-Жанейро, решавших задачу распознавания движения по четырем акселерометрам, закрепленным на теле человека.

Акселерометр - это прибор, измеряющий проекцию кажущегося ускорения (разности между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением).

Было рассмотрено пять движений:

- Сидение (sitting)
- Вставание со стула (standingup)
- Посадка на стул (sittingdown)
- Ходжение (walking)
- Стояние (standing)



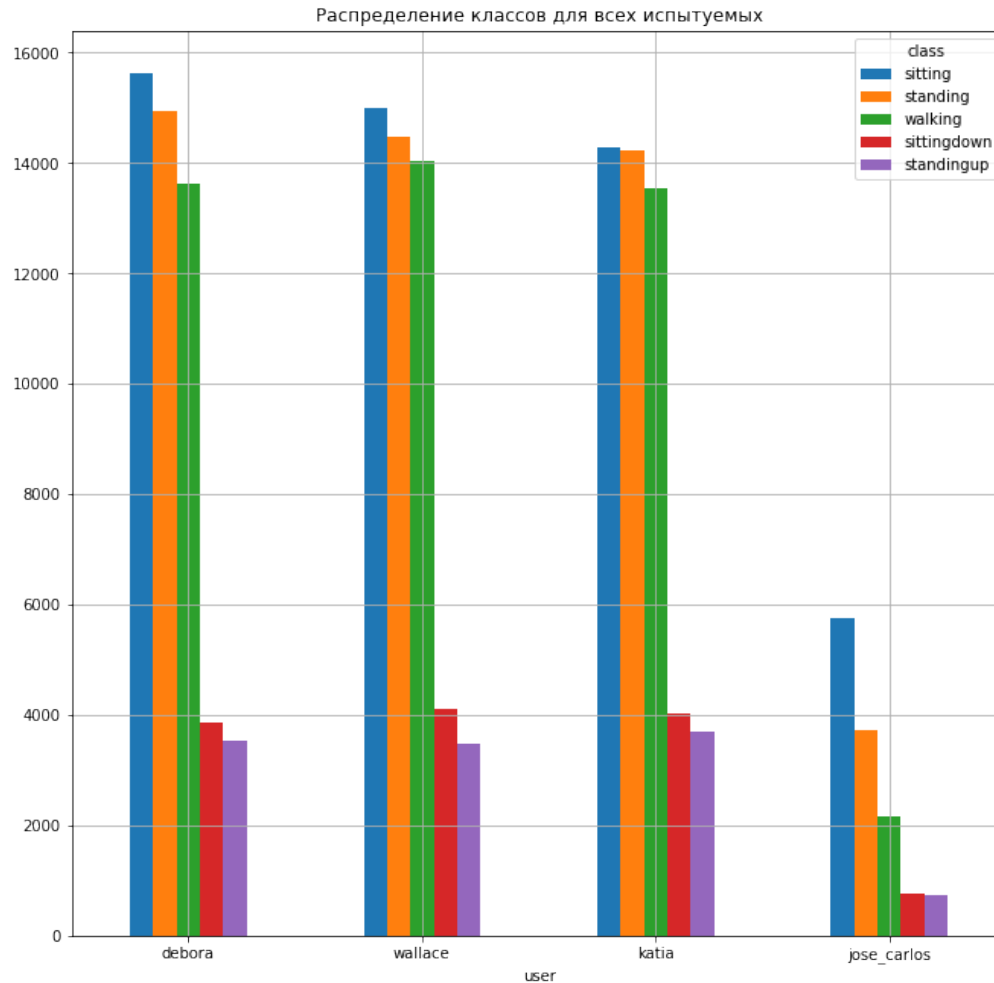
# Первые несколько строк таблицы

	user	gender	age	how_tall_in_meters	weight	body_mass_index	x1	y1	z1	x2	y2	z2	x3	y3	z3	x4	y4	z4	class
0	debora	Woman	46	1,62	75	28,6	-0.7	97.3	-62.2	-13.0	20.2	-15.1	-12.6	104.3	-89.4	-158.8	-102.7	-142.2	sitting
1	debora	Woman	46	1,62	75	28,6	-0.7	97.3	-62.2	-13.0	20.2	-15.1	-12.6	104.3	-89.4	-158.9	-102.7	-142.1	sitting
2	debora	Woman	46	1,62	75	28,6	-0.7	97.3	-62.2	-13.0	20.2	-15.1	-12.6	104.3	-89.4	-158.9	-102.6	-142.1	sitting
3	debora	Woman	46	1,62	75	28,6	-0.7	97.3	-62.3	-13.0	20.2	-15.1	-12.6	104.3	-89.4	-159.0	-102.6	-142.1	sitting
4	debora	Woman	46	1,62	75	28,6	-0.7	97.3	-62.3	-13.0	20.2	-15.1	-12.6	104.3	-89.4	-159.1	-102.6	-142.1	sitting
5	debora	Woman	46	1,62	75	28,6	-0.7	97.3	-62.3	-12.9	20.2	-15.1	-12.6	104.3	-89.4	-159.1	-102.6	-142.1	sitting
6	debora	Woman	46	1,62	75	28,6	-0.7	97.3	-62.3	-12.9	20.2	-15.1	-12.6	104.3	-89.4	-159.2	-102.6	-142.1	sitting
7	debora	Woman	46	1,62	75	28,6	-0.7	97.4	-62.3	-12.9	20.2	-15.1	-12.6	104.3	-89.4	-159.2	-102.6	-142.0	sitting
8	debora	Woman	46	1,62	75	28,6	-0.8	97.4	-62.3	-12.9	20.2	-15.1	-12.6	104.3	-89.4	-159.3	-102.6	-142.0	sitting
9	debora	Woman	46	1,62	75	28,6	-0.8	97.4	-62.4	-12.9	20.2	-15.1	-12.7	104.3	-89.4	-159.4	-102.6	-142.0	sitting
10	debora	Woman	46	1,62	75	28,6	-0.8	97.4	-62.4	-12.9	20.2	-15.1	-12.7	104.3	-89.4	-159.4	-102.5	-142.0	sitting
11	debora	Woman	46	1,62	75	28,6	-0.8	97.4	-62.4	-12.9	20.2	-15.1	-12.7	104.3	-89.4	-159.5	-102.5	-142.0	sitting

# Описание признаков

Название	Единицы измерения	Описание
user	-	Имя испытуемого
gender	-	Пол испытуемого
age	Годы	Возраст испытуемого
how_tall_in_meters	М	Рост
weight	Кг	Вес
body_mass_index	кг/м <sup>2</sup>	Индекс массы тела
X1 , Y1 , Z1, X2 , Y2 , Z2, X3 , Y3 , Z3, X4 , Y4 , Z4	м/с <sup>2</sup> * 10 <sup>-3</sup>	Сигналы (значения трех компонент ускорений) с четырех акселерометров (12 столбцов)
class	-	Тип движения (целевой столбец)

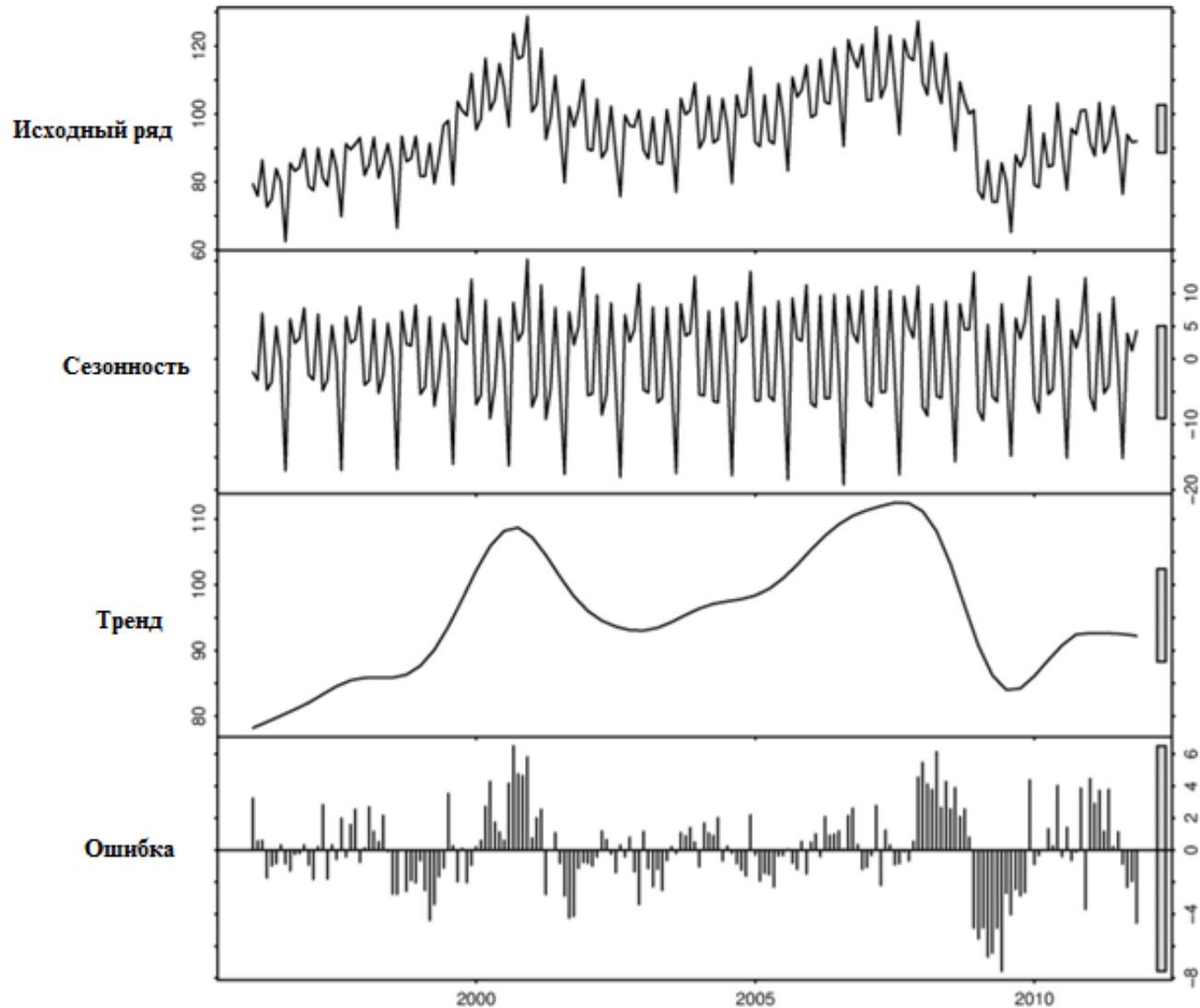
# Распределение объектов по классам



class	sitting	standing	walking	sittingdown	standingup
user					
debora	15615	14940	13622	3853	3547
wallace	14993	14467	14037	4115	3486
katia	14280	14234	13556	4017	3710
jose_carlos	5743	3729	2175	777	737

# STL разложение

Разложение временного ряда на три составляющие.



# Очистка сигнала

Очистка сигнала было осуществлена при помощи метода STL-разложения. Трендовая составляющая является очищенным сигналом. Нужный почти-период был найден при помощи сдвиговой функции Джонса.

Сдвиговая функция Джонса:

$$a(\tau) = \frac{1}{n - \tau} * \sum_{t=1}^{n-\tau} |f(t + \tau) - f(t)| \quad (1)$$

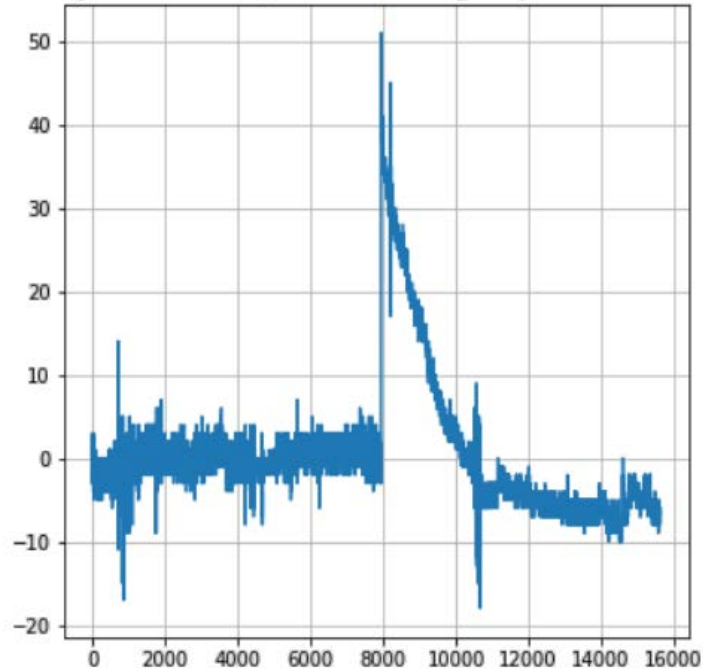
Преобразование для исключения тренда:

$$\ln \left( \frac{y_{t+\Delta t} * y_{t-\Delta t}}{y_t^2} \right) \sim t_{t,\pi} \quad (2)$$

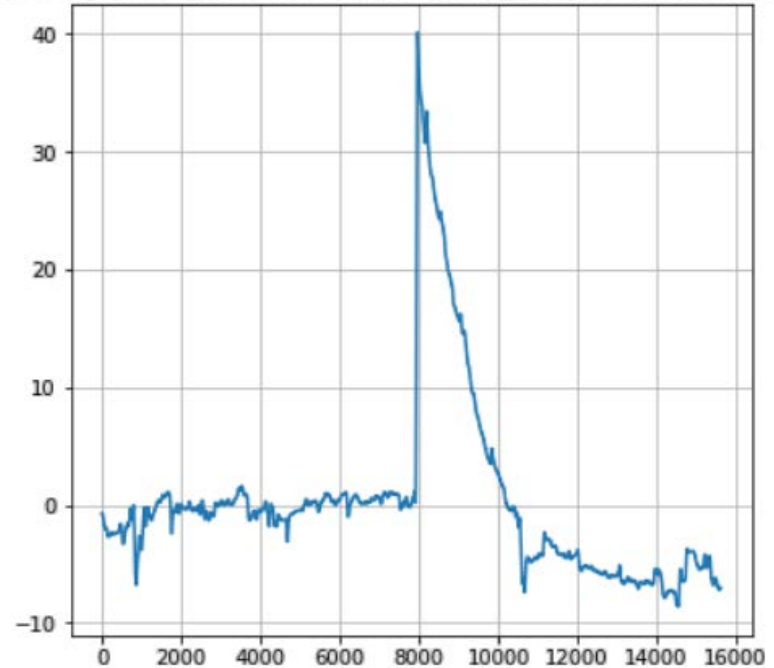
После этого было использовано STL-разложение для извлечения трендовой составляющей.

# Сравнение сигнала – до и после ОЧИСТКИ

Испытуемый -deboга Действие - sitting Координата x1 (Талия)



Испытуемый -deboга Действие - sitting Координата x1 (Талия)





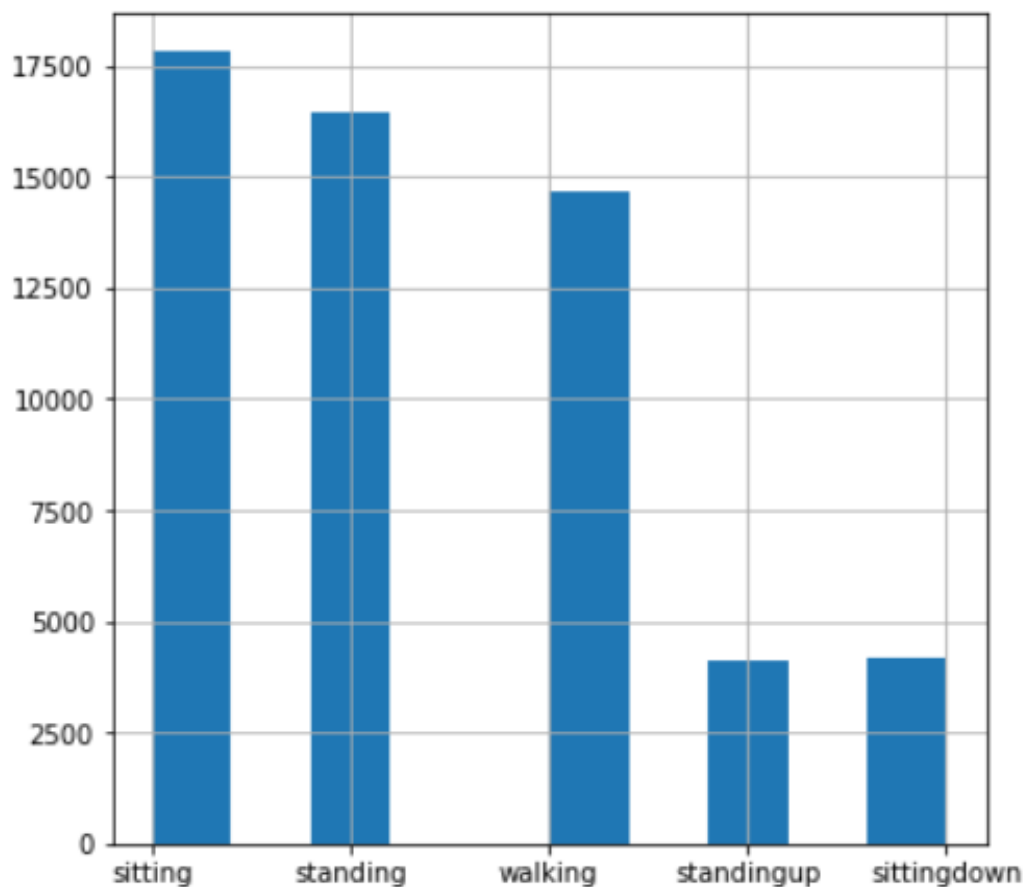
# Описание созданных признаков

Имя колонки в таблице и количество колонок	Описание
x1_mean - z4_mean (12)	Среднее значение окна
x1_Minmax - z4_Minmax (12)	Разность максимального и минимального значений окна
x1_krt - z4_krt (12)	Коэффициент эксцесса окна
x1_Std - z4_Std (12)	Стандартное отклонение окна
a1_mean - a4_mean (4)	Среднее значение модуля ускорения окна
a1_Minmax - a4_Minmax (4)	Разность максимального и минимального значений модуля ускорения окна
a1_krt - a4_krt (4)	Коэффициент эксцесса модуля ускорения окна
a1_Std - a4_Std (4)	Стандартное отклонение модуля ускорения окна

# Распределение объектов по классам

Количество объектов каждого класса

Класс	Число объектов
sitting	17809
standing	16442
walking	14667
sittingdown	4160
standingup	4160



# Разделение выборки и метрика качества

Нужно разделить выборку на 3 части в следующем процентном отношении:

- Обучающая (60%) – для обучения моделей и оптимизации их гиперпараметров.
- Валидационная (20%) – для промежуточного тестирования моделей и оптимизации гиперпараметров некоторых. Оптимизация на этой выборке не желательна, так как модель подстроится под неё и покажет худший результат на других данных.
- Тестовая (20%) – требуется только для финальной оценки моделей и выбора наилучшей из них.

Для оценки качества классификации было использована F-мера с микроусреднением.

Precision – точность

Recall - полнота

$$Precision_c = \frac{A_{c,c}}{\sum_{i=1}^n A_{c,i}} \quad (3)$$

$$Recall_c = \frac{A_{c,c}}{\sum_{i=1}^n A_{i,c}} \quad (4)$$

$$F = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (5)$$

# Понижение размерности

Номер варианта	Названия столбцов	Описание
1	'x1_mean', 'y1_mean', 'z1_mean', 'x2_mean', 'y2_mean', 'z2_mean', 'x3_mean', 'y3_mean', 'z3_mean', 'x4_mean', 'y4_mean', 'z4_mean', 'x1_Std', 'y1_Std', 'z1_Std', 'x2_Std', 'y2_Std', 'z2_Std', 'x3_Std', 'y3_Std', 'z3_Std', 'x4_Std', 'y4_Std', 'z4_Std', 'a1_mean', 'a2_mean', 'a3_mean', 'a4_mean', 'a1_Std', 'a2_Std', 'a3_Std', 'a4_Std'	Среднее значение по 12 координатам (12) Стандартное отклонение по 12 координатам (12) Среднее значение модуля ускорения по 4 акселерометрам (4) Стандартное отклонение модуля ускорения по 4 акселерометрам (4)

# Понижение размерности

Номер варианта	Названия столбцов	Описание
2	'x1_mean', 'y1_mean', 'z1_mean', 'x2_mean', 'y2_mean', 'z2_mean', 'x3_mean', 'y3_mean', 'z3_mean', 'x4_mean', 'y4_mean', 'z4_mean', 'a1_mean', 'a2_mean', 'a3_mean', 'a4_mean'	Среднее значение по 12 координатам (12) Среднее значение модуля ускорения по 4 акселерометрам (4)
3	'x1_mean', 'y1_mean', 'z1_mean', 'x2_mean', 'y2_mean', 'z2_mean', 'x3_mean', 'y3_mean', 'z3_mean', 'x4_mean', 'y4_mean', 'z4_mean'	Среднее значение по 12 координатам (12)
4	'a1_mean', 'a2_mean', 'a3_mean', 'a4_mean'	Среднее значение модуля ускорения по 4 акселерометрам (4)

# Оценка вариантов понижения размерности

Оценка для вариантов признаков на валидационной выборке.

Номер варианта	Оценка на валидационной выборке
1	0.9993883
2	0.9974659
3	0.9965047
4	0.7991960

Оценка на тестовой выборке для вариантов 3, 4.

Номер варианта	Оценка на тестовой выборке
3	0.9969416
4	0.8036525

# Подбор моделей на наборе из 12 признаков

Наименование модели	Лучшая комбинация параметров	Описание параметров
Softmax – регрессия	$C = 14.75$	$C$ - Коэффициент регуляризации.
Метод К ближайших соседей	$p = 2$ $n\_neighbors = 2$	<b>n_neighbors</b> - количество ближайших соседей <b>p</b> - параметр метрики Минковского
Метод К ближайших соседей со взвешенной метрикой	Вектор с координатами: 1.82, 2.89, 2.47, 2.07, 0.96, 2.01, 1.63, 2.53, 2.94, 1.62, 1.29, 1.75. $p = 2$ $n\_neighbors = 2$	<b>Координаты вектора</b> - это веса признаков во взвешенной метрике Минковского. Остальные параметры остались те же что и в предыдущем методе ближайших соседей.
Нейронная сеть	Число нейронов в слое, начиная с входного: 12, 10, 8, 5. Метод оптимизации – Adam с базовыми настройками. Функции активации: ReLU, sigmoid, softmax.	Количество нейронов в скрытых слоях. Количество скрытых слоев. Метод обучения нейронной сети. Функции активации скрытых слоев.

# Подбор моделей на наборе из 12 признаков

Наименование модели	Лучшая комбинация параметров	Описание параметров
Решающее дерево	<code>criterion: gini,</code> <code>max_depth: 20,</code> <code>min_samples_leaf: 2,</code> <code>min_samples_split: 30</code> <code>random_state: 167</code>	<b>criterion</b> – функция измерения качества разделения. <b>max_depth</b> – максимальная глубина дерева <b>min_samples_leaf</b> – минимальное количество выборок, необходимое для разделения во внутреннем узле <b>min_samples_split</b> – минимальное количество выборок, которое требуется для конечного узла <b>random_state</b> - параметр генератора случайных чисел. Генератор отвечает за случайное разделение выборки в процессе обучения



# Подбор моделей на наборе из 12 признаков

Наименование модели	Лучшая комбинация параметров	Описание параметров
Случайный лес	<code>max_features: 0.75</code> <code>max_samples: 0.8</code> <code>n_estimators: 5</code> <code>oob_score: True</code> <code>random_state: 34</code>	<b>max_features</b> - число признаков, используемое для обучения модели <b>max_samples</b> - число образцов, используемое для обучения модели <b>n_estimators</b> – число моделей в ансамбле <b>oob_score</b> – оценка обобщающей способности базовой модели на неиспользованной для обучения части данных <b>random_state</b> - параметр генератора случайных чисел. Генератор отвечает за случайное разделение выборки в процессе обучения

# Подбор моделей на наборе из 12 признаков

Наименование модели	Результат на валидационной выборке	Результат на тестовой выборке
Softmax – регрессия	0.9970290	0.9971163
Метод К ближайших соседей	0.9999126	0.9998252
Метод К ближайших соседей со взвешенной метрикой	1.0	0.9999126
Нейронная сеть	0.9866305	0.9866305
Решающее дерево	0.9965047	0.9961551
Беггинг над решающими деревьями	0.9989514	0.9989514

Вывод: лучшая модель для пространства из двенадцати признаков - Метод К ближайших соседей со взвешенной метрикой.

# Подбор моделей на наборе из 4 признаков

Наименование модели	Лучшая комбинация параметров	Описание параметров
Softmax – регрессия	$C = 11.25$	$C$ - коэффициент регуляризации.
Метод К ближайших соседей	$p = 2$ $n\_neighbors = 2$	<b>n_neighbors</b> - количество ближайших соседей <b>p</b> - параметр метрики Минковского
Метод К ближайших соседей со взвешенной метрикой	Вектор с координатами: 2.38, 2.86, 2.36, 0.73. $p = 2$ $n\_neighbors = 2$	Координаты вектора - это веса признаков во взвешенной метрике Минковского. Остальные параметры остались те же что и в предыдущем методе ближайших соседей.

# Подбор моделей на наборе из 4 признаков

Наименование модели	Лучшая комбинация параметров	Описание параметров
Решающее дерево	<code>criterion: 'entropy', max_depth: 20, max_features: 4, min_samples_leaf: 2, min_samples_split: 30, random_state: 91</code>	<b>criterion</b> – Функция измерения качества разделения. <b>max_depth</b> – максимальная глубина дерева <b>min_samples_leaf</b> – минимальное количество выборок, необходимое для разделения во внутреннем узле <b>min_samples_split</b> – минимальное количество выборок, которое требуется для конечного узла <b>random_state</b> - параметр генератора случайных чисел. Генератор отвечает за случайное разделение выборки в процессе обучения

# Подбор моделей на наборе из 4 признаков

Наименование модели	Лучшая комбинация параметров	Описание параметров
Случайный лес	n_estimators: 35 criterion: gini max_depth: 12 min_samples_leaf: 2 min_samples_split: 8 max_samples: 0.85	<b>criterion</b> - функция измерения качества разделения <b>max_depth</b> – максимальная глубина дерева <b>min_samples_leaf</b> - минимальное количество выборок, которое требуется для конечного узла <b>min_samples_split</b> - минимальное количество выборок, необходимое для разделения во внутреннем узле <b>max_features</b> - число признаков, используемое для обучения модели <b>max_samples</b> - число образцов, используемое для обучения модели <b>n_estimators</b> – число моделей в ансамбле

# Подбор моделей на наборе из 4 признаков

Наименование модели	Лучшая комбинация параметров	Описание параметров
Градиентный бустинг над решающими деревьями	max_depth: 5 min_samples_leaf: 20 min_samples_split: 50 n_estimators: 80	<b>max_depth</b> - максимальная глубина дерева <b>min_samples_leaf</b> - минимальное количество выборок, которое требуется для конечного узла <b>min_samples_split</b> - минимальное количество выборок, необходимое для разделения во внутреннем узле <b>n_estimators</b> – число моделей в ансамбле
Беггинг над методом К ближайших соседей (взвешенная метрика)	n_estimators: 4 max_samples: 0.85	<b>max_samples</b> - число образцов, используемое для обучения модели <b>n_estimators</b> – число моделей в ансамбле

# Подбор моделей на наборе из 4 признаков

Наименование модели	Описание участвующих алгоритмов
Голосующий классификатор (случайный лес, градиентный бустинг над решающими деревьями)	Случайный лес, Градиентный бустинг над решающими деревьями – их параметры были подобраны ранее (соответствующие модели в таблице)
Голосующий классификатор (Метод К ближайших соседей со взвешенной метрикой, Беггинг над методом К ближайших соседей (взвешенная метрика))	Метод К ближайших соседей со взвешенной метрикой, Беггинг над методом К ближайших соседей (взвешенная метрика) – их параметры были подобраны ранее (соответствующие модели в таблице)

# Подбор моделей на наборе из 4 признаков

Наименование модели	Результат на валидационной выборке	Результат на тестовой выборке
Softmax – регрессия	0.7992834	0.8037399
Метод К ближайших соседей	0.9950192	0.9947570
Метод К ближайших соседей со взвешенной метрикой	0.9968542	0.9960678
Решающее дерево	0.9815623	0.9800768
Случайный лес	0.9940580	0.9930968
Градиентный бустинг над решающими деревьями	0.9955435	0.9945823
Беггинг над методом К ближайших соседей (взвешенная метрика)	0.9958930	0.9945823
Голосующий классификатор (случайный лес, градиентный бустинг над решающими деревьями)	0.9952813	0.9940580
Голосующий классификатор (Метод К ближайших соседей со взвешенной метрикой , Беггинг над методом К ближайших соседей (взвешенная метрика))	0.9962425	0.9955435



# Выводы

В данном проекте лучше всего показала себя модель: Метод К ближайших со взвешенной метрикой. Оптимальное количество признаков для классификации равно 12 (см. слайд 14, номер варианта 3). В данном пространстве объекты хорошо линейно разделимы. Также в этом пространстве отлично работает модель: softmax-регрессия. Её качество классификации чуть хуже, чем метод К ближайших соседей, но скорость её работы выше.

Задача распознавания движений человека по показаниям с акселерометра разрешима методами машинного обучения. Инженерные решения такого типа показывают очень высокое качество работы на реальных данных.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**