

# Декодирование сигналов мозга и прогнозирование намерений

Теленков Дмитрий Сергеевич

Московский физико-технический институт  
Сколковский институт науки и технологий

*Курс: Численные методы обучения по прецедентам  
(практика, В. В. Стрижов)/Группа 694, весна 2019*

## Цель работы

Создать алгоритм выбора признаков, альтернативный PLS и учитывающий неортогональную структуру взаимозависимости признаков.

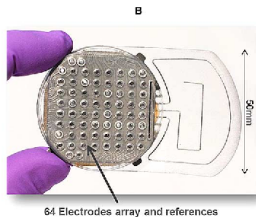
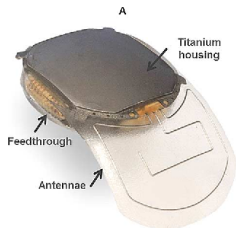
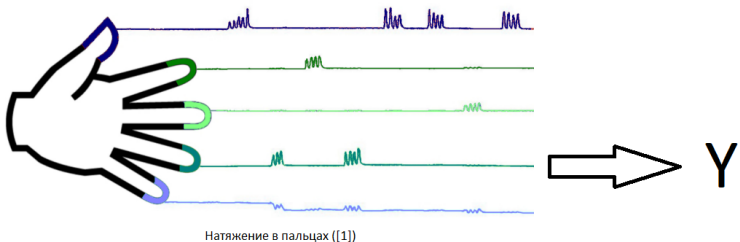
## Проблема

Требуется научиться бороться с мультиколлинеарностью признаков

## Метод решения

Использовать алгоритм иерархической смеси экспертов над моделью PLS

# Постановка задачи. Получение данных



WIMAGINE ECoG implant



Дана выборка размера  $m$ :

$$D_n = \{x_i, y_i\}_{i=1}^m$$

где  $x_i \in \mathbb{R}^n$  - вектор признаков,  $y_i \in \mathbb{R}^5$ . Будем также говорить, что у нас есть матрица параметров  $X$  и матрица ответов  $Y$   
Выборка разбита на обучение и контроль:

$$D_\tau = \{x_i, y_i\}_{i \in \tau} \quad D_\theta = \{x_i, y_i\}_{i \in \theta} \quad \tau \sqcup \theta = [1, 2, \dots, m]$$

Требуется научиться предсказывать значения  $y_i$  по  $x_i$  на обучении и проверить точность на контроле

- [1] Schalk, G., Kubanek, J., Miller, K.J., Anderson, N.R., Leuthardt, E.C., Ojemann, J.G., Limbrick, D., Moran, D.W., Gerhardt, L.A., and Wolpaw, J.R. Decoding TwoDimensional Movement Trajectories Using Electrographic Signals in Humans, J Neural Eng, 4: 264-275, 2007.
- [2] Decoding Ipsilateral Finger Movements from ECoG Signals in Humans
- [3] J. Wolpaw, N. Birbaumer, D. McFarland, G. Pfurtscheller, and T. Vaughan. Brain-computer interfaces for communication and control. Clinical neurophysiology, 113(6):767–791, 2002.
- [4] G. Pfurtscheller, C. Guger, G. Muller, G. Krausz, and C. Neuper. Brain oscillations control hand orthosis in a tetraplegic. Neuroscience letters, 292(3):211–214, 2000.
- [5] J. Wolpaw and D. McFarland. Control of a two-dimensional movement signal by a noninvasive brain-computer interface in humans. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 101(51):17849, 2004.

## Понижение размерности и корреляции

Векторы признаков  $x_i$  имеют высокую размерность и сильно коррелированы. Для улучшения ситуации используется метод partial least squares

## PLS

Находит переход из пространства параметров  $\mathbb{R}^n$  в пространство более низкой размерности -  $\mathbb{R}^k$ ,  $k < n$ , основываясь на корреляции между параметрами и ответами. Таким образом у нас появляется матрица перехода -  $W_{n \times k}$

## Новая задача

Задача линейной регрессии переходит в нахождении  $Q \in \mathbb{R}^k$ , что:

$$Y = TQ + E = XWQ + E$$

Для решения задачи PLS используем алгоритм NIPALS:

$$A_1 = X^T Y, \quad M_1 = X^T X, \quad C_1 = I.$$

На  $i$ -й итерации алгоритма происходит:

- ❶ вычислим  $e_i$ , доминантный собственный вектор  $A_i^T A_i$
- ❷  $w_i = C_i A_i e_i$ ,  $w_i = \frac{w_i}{\|w_i\|}$ . Положим  $w_i$  в  $W$ , как  $i$ -ю колонку
- ❸  $p_i = M_i w_i$ ,  $c_i = w_i^T M_i w_i$ ,  $p_i = \frac{p_i}{c_i}$
- ❹  $q_i = \frac{A_i^T w_i}{c_i}$ . Положим  $q_i$  в  $Q$ , как  $i$ -ю колонку
- ❺  $A_{i+1} = A_i - c_i p_i q_i^T$ ,  $M_{i+1} = M_i - c_i p_i p_i^T$
- ❻  $C_{i+1} = C_i - w_i p_i^T$

Чтобы перейти к размерности  $k$  необходимо сделать  $k$  итераций.

## Получение

Датасет взят из схожей работы [1]. В нем показаниям с 64 каналов кортикограммы сопоставлялись натяжения во всех пяти пальцах руки испытуемой. Частота сэмплирования - 1кГц, полоса пропускания каналов - 0.15-200Гц.

## Датасет

Датасет состоит из элементов:

$$D_n = \{x_i, y_i\}_{i=1}^{4 \cdot 10^6},$$

где  $x_i \in \mathbb{R}^{64}$  - вектор признаков,  $y_i \in \mathbb{R}^5$ .



# Вычислительный эксперимент. Базовый алгоритм

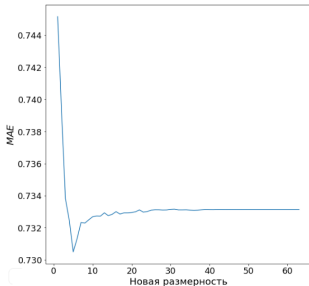


Рис.: Зависимость средней ошибки от числа итераций.

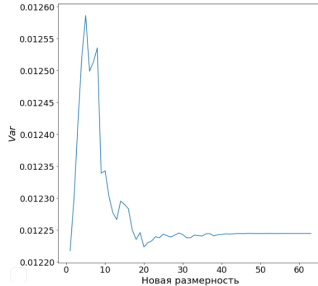


Рис.: Зависимость дисперсии средней ошибки от числа итераций.

Минимум достигается при размерности пространства совпадающей с количеством пальцев. Но дисперсия ошибки там сильно возрастает.

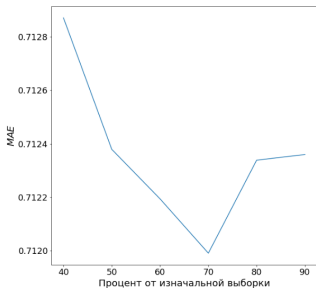


Рис.: Зависимость средней ошибки от размера выборки.

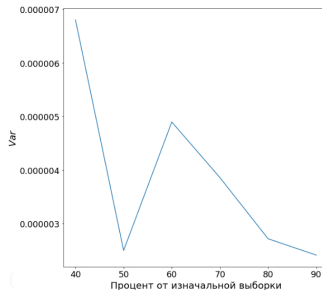


Рис.: Зависимость дисперсии средней ошибки от размера выборки.

Возможно переобучение при слишком большой выборке.

Здесь мог бы быть мой основной алгоритм