

# Исследование свойств локальных моделей при пространственном декодировании сигналов головного мозга

Болоболова Н. А.,  
Мокропуло Ю. И., Самохина А. М., Шиянов В. А.

Московский физико-технический институт

*Курс: Численные методы обучения по прецедентам  
(практика, В. В. Стрижов), осень 2018*

## Задача

- Решить задачу декодирования сигналов
- Построить точную устойчивую модель прогнозирования

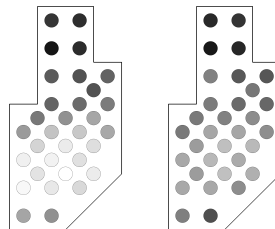
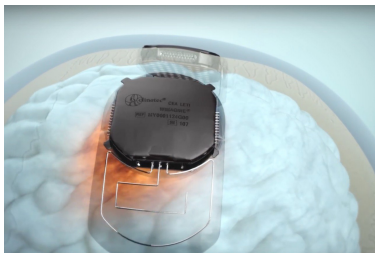
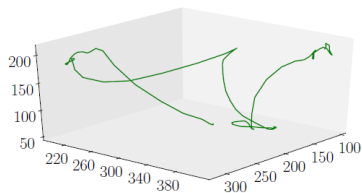
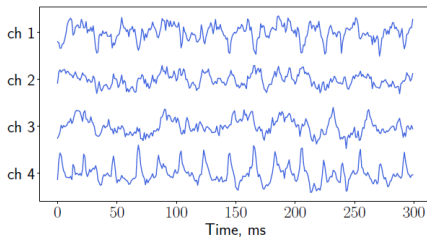
## Проблема

- Исходное пространство сигналов избыточно
- Предсказательная модель неустойчива

## Решение

Предлагается использовать параметры локальной модели генерации данных в качестве признакового пространства

# Исходные сигналы



- Anastasia Motrenko and Vadim Strijov. Multi-way feature selection for ECoG-based brain-computer interface. 2018.
- Andrey Eliseyev and Tetiana Aksenova. Penalized multi-way partial least squares for smooth trajectory decoding from electrocorticographic (ECoG) recording. 2016.
- Rodriguez-Lujan, R Huerta, C Elkan, and C Santa Cruz. Quadratic programming feature selection. 2010.
- Roman Rosipal and Nicole Kramer. Overview and recent advances in partial least squares. 2006.

## Исходные данные:

$$\mathbf{X} = \{x_{ti}\}_{\substack{t=1,\dots,T, \\ i=1,\dots,N \cdot F}}; \quad \mathbf{Y} = \{y_{ti}\}_{\substack{t=1,\dots,T, \\ i=1,2,3}};$$

$T$  - количество отсчетов времени,  $N$  - число каналов,  $F$  - набор частот,  $\mathbf{Y}$  - матрица ответов.

## Модель прогнозирования:

$f : \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}$  предлагается искать в классе суперпозиции двух моделей:  $f = g \circ h : \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}$ :

$g(\mathbf{X}, \Theta)$  - локальная модель,

$h(\Theta, \mathbf{w})$  - модель прогнозирования.

Построение признакового пространства:

$$\Theta^i(\mathbf{X}) = \arg \min_{\Theta} H(g(\mathbf{x}_i, \Theta^i)), i = 1, \dots, T$$

Пример: решение задачи авторегрессии.

Задача прогнозирования:

$$\mathbf{w}^* = \arg \min_{\mathbf{w}} L(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{w}, g, h)$$

$$L(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{w}, g, h) = \|\mathbf{Y} - \hat{\mathbf{Y}}\|_2^2$$

$\hat{\mathbf{Y}}$  — предсказание прогностической модели.

## Гипотеза 1:

Закон нормального распределения:

$$\mathbf{x}_t \in \mathcal{N}(\mathbf{m}(t), \mathbf{\Sigma}(t)).$$

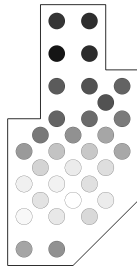
Параметры:  $\Theta = (\mathbf{m}(t), \mathbf{\Sigma}(t)).$

## Гипотеза 2:

Закон гамма-распределения:

$$x_{ti} \in \Gamma(k_i, \theta_i), i = 1, \dots, N.$$

Параметры:  $\Theta = \{(k_i, \theta_i)\}_{i=1}^T.$



## Partial Least Squares (PLS)

**Require :**  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}, I$

**Ensure :**  $\mathbf{T}, \mathbf{P}, \mathbf{Q}$

- 1: normalize matrices  $\mathbf{X}$  and  $\mathbf{Y}$  by columns
- 2: initialize  $\mathbf{u}_0$  (*the first column of  $\mathbf{Y}$* )
- 3:  $\mathbf{X}_1 = \mathbf{X}; \mathbf{Y}_1 = \mathbf{Y}$
- 4: for  $k = 1, \dots, I$  do
- 5:   repeat
- 6:    $\mathbf{w}_k := \mathbf{X}_k^T \mathbf{u}_{k-1} / (\mathbf{u}_{k-1}^T \mathbf{u}_{k-1}); \quad \mathbf{w}_k := \frac{\mathbf{w}_k}{\|\mathbf{w}_k\|}$
- 7:    $\mathbf{t}_k := \mathbf{X}_k \mathbf{w}_k$
- 8:    $\mathbf{c}_k := \mathbf{Y}_k^T \mathbf{t}_k / (\mathbf{t}_k^T \mathbf{t}_k); \quad \mathbf{c}_k := \frac{\mathbf{c}_k}{\|\mathbf{c}_k\|}$
- 9:    $\mathbf{u}_k := \mathbf{Y}_k \mathbf{c}_k$
- 10:   until  $\mathbf{t}_k$  stabilizes
- 11:    $\mathbf{p}_k := \mathbf{X}_k^T \mathbf{t}_k / (\mathbf{t}_k^T \mathbf{t}_k); \quad \mathbf{q}_k = \mathbf{Y}_k^T \mathbf{t}_k / (\mathbf{t}_k^T \mathbf{t}_k);$
- 12:    $\mathbf{X}_{k+1} := \mathbf{X}_k - \mathbf{t}_k \mathbf{p}_k^T$
- 13:    $\mathbf{Y}_{k+1} := \mathbf{Y}_k - \mathbf{t}_k \mathbf{q}_k^T$



## Цели

- Запустить базовый алгоритм
- Проверить предложенные гипотезы порождения данных

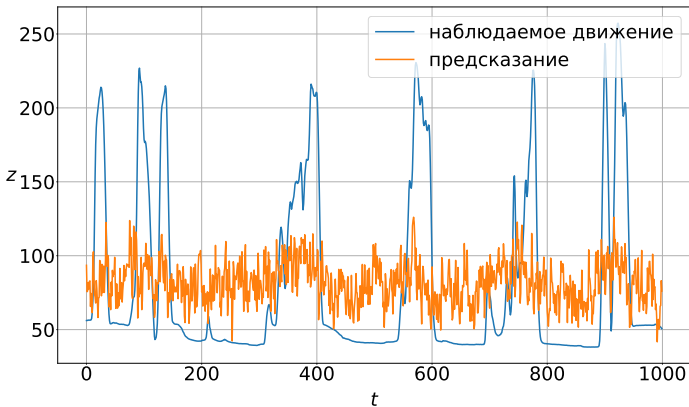
## Описание

- Базовый алгоритм - PLS на исходных данных
- Основной алгоритм - PLS на признаках локальной модели
- Количество компонент - от 2 до 100

## Метрики

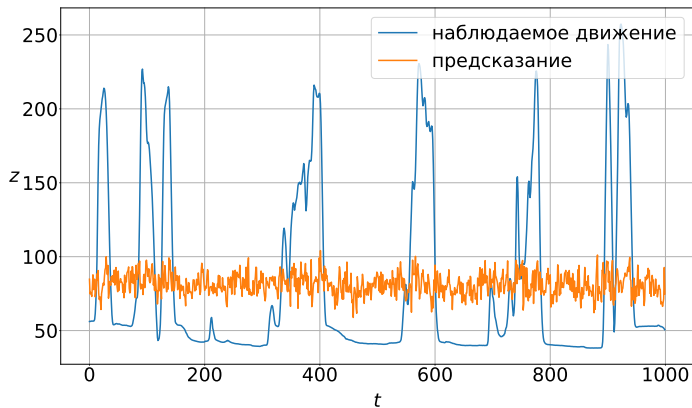
- Mean Squared Error
- Mean Absolute Error
- R2 score

# Базовый эксперимент с PLS



эксперимент	mae	mse	r2
базовый	30.17	1843.91	0.01

# Основной эксперимент



эксперимент	mae	mse	r2
базовый	30.17	1843.91	0.01
основной	31.15	1908.62	-0.03

## Результаты

- Исследована проблема декодирования сигналов
- Предложен алгоритм построения признакового пространства на основе локальных моделей
- Построена прогностическая модель
- Проведён вычислительный эксперимент

## Дальнейшее развитие работы

- Подбор локальной модели
- Изучение локальных моделей и их свойств